



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

-Bachelorarbeit-

Zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science (B.Sc.)

Im Studiengang Medientechnik

Messtechnische Untersuchung der Reaktion von Aussteuerungsmessern auf Signale un- terschiedlicher Dynamik

Philipp Holle

Matrikelnummer: 2055907

Bearbeitungszeitraum: 02.11.2105 – 01.02.2016

Erstprüfer/In: Prof. Dr.-Ing. Eva Wilk

Zweitprüfer/In: Prof. Dr. Ralf Hendrych

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Design, Medien und Information

Department Medientechnik

Detmold, den 30.01.2016

Zusammenfassung

In der vorliegenden Bachelor-Thesis geht es um die Messung der Reaktion von Aussteuerungsmessgeräten auf Signale unterschiedlicher Dynamik. Hierzu wird eine von Victor Acuña entwickelte Messmethode genutzt, die unter Verwendung von gepulsten Sinussignalen eine diesbezügliche Bewertung ermöglichen soll. Die Änderung der Signaldynamik wird dabei über den Crest-Faktor und somit über den Tastgrad gesteuert. Durch die Ergebnisse der Messung kann das dynamische Verhalten der Aussteuerungsmesser so wie die Messmethode selbst einer Bewertung unterzogen werden.

Abstract

This Bachelor Thesis is about the measurement of the reaction of audio meters at signals of different dynamics. For this purpose, a method developed by Victor Acuña is used, which, under the use of pulsed sine waves, shall enable an evaluation in this regard. The alteration of the signal dynamic is controlled by the Crest-Factor and therefore by the Duty Cycle. Through the results of the measurement, an evaluation of the dynamic response of the audio meters and the method of measurement itself can be done.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Theoretische Grundlagen.....	3
2.1	Ansatz	3
2.2	Aussteuerungsmessgeräte	3
2.3	Aufbau und Funktionsweise des selbstmontierten VU-Meters	7
2.4	Signaldynamik.....	9
3.	Messaufbau und Durchführung der Messungen	13
3.1	Verwendete Hard- und Software	13
3.2	Verwendete Aussteuerungsmessgeräte	14
3.3	Messmethode	16
4.	Auswertung der Messergebnisse.....	18
4.1	RTW 1204A.....	19
4.2	Selbstmontiertes VU-Meter	21
4.3	DK-Audio MSD100T	24
4.4	API 2500 Stereo Compressor	26
4.5	Solid State Logic C200HD	28
5.	Fazit.....	30
6.	Anhang	32
A1.	Messdaten des RTW 1204A	32
A2.	Messdaten des selbstmontierten VU-Meters.....	38
A3.	Messdaten des DK-Audio MSD100T	43
A4.	Messdaten des API 2500 Stereo Compressor	48
A5.	Messdaten des Solid State Logic C200HD	53
A6.	Schaltplan des JLM Audio VU-Meter Buffers.....	58
	Abbildungsverzeichnis.....	59

Tabellenverzeichnis	61
Literaturverzeichnis	62

1. Einleitung

Der Begriff der Dynamik hat spätestens mit den Möglichkeiten der digitalen Bearbeitung von Tonmaterial stark an Bedeutung gewonnen. Durch den immer stärkeren Einsatz von Effekten wie z.B. Multi-bandkompressoren beim Mastering, weisen gerade Produktionen aus dem populärmusikalischen Bereich oft eine deutliche geringere Dynamik auf als beispielsweise eine Aufnahme klassischer Musik. Diese Unterschiede betreffen nicht nur das ästhetische Empfinden des Hörers, sondern schaffen ebenfalls die Notwendigkeit, sich der Bedeutung großer Dynamikunterschiede der zu bearbeitenden Signale für die Audioproduktion bewusst zu werden.

Die im Folgenden dokumentierte Arbeit soll diese Bedeutung in Bezug auf Aussteuerungsmesser untersuchen.

Im Umfeld von professionellen Produktionen sind Aussteuerungsmessgeräte unerlässlich. Von der korrekten Interpretation der von ihnen angezeigten Werte hängt ein großer Teil der Qualität des produzierten Tonmaterials ab. Durch die Verwendung verschiedener Messmethoden können die angezeigten Pegeländerungen bei veränderter Dynamik je nach Gerätetyp jedoch durchaus abweichen. Die diesbezüglichen Eigenschaften und genauen Berechnungs- bzw. Messmethoden der Geräte sind oft nicht bekannt, bzw. sind die anzugebenden Informationen über das dynamische Verhalten nicht für alle Gerätetypen einheitlich festgelegt. Aus diesem Grund können Erkenntnisse über deren spezifisches Verhalten bei Änderung der Signaldynamik für die Praxis der Tonproduktion durchaus relevant sein.

Um diese Auswirkungen von Signalen unterschiedlicher Dynamik auf solche Geräte zu untersuchen, wurde im Rahmen dieser Bachelorarbeit eine Messreihe durchgeführt, bei der die Reaktion von unterschiedlichen Messinstrumenten auf die Änderung der Signaldynamik erfasst werden sollte. Vorbild für diese Messung war eine von Victor Acuña entwickelte Methode (vgl. Acuña 2015: 584 f.), mit welcher eine Untersuchung besagter Auswirkungen vor allem in Bezug auf VU-Meter ermöglicht werden soll.

In der nachfolgenden Ausarbeitung wird diese Messreihe dokumentiert, die Ergebnisse im Kontext der zuvor erläuterten Problematik ausgewertet und die verwendete Messmethode, sowie der aus den Ergebnissen resultierende Erkenntnisgewinn evaluiert.

Dazu werden in Kapitel 2 zunächst der gedankliche Ansatz und die theoretischen Grundlagen in Bezug auf Signaldynamik und Aussteuerungsmessung erläutert. Als Beispiel für den Aufbau eines VU-Meters erfolgt außerdem eine knappe Erläuterung der Funktionsweise eines für den Messversuch selbstmontierten Gerätes. Hiernach wird in Kapitel 3 genauer auf die angewandte Messmethode und

die Durchführung der Messung eingegangen. In Kapitel 4 finden schließlich die Präsentation der Ergebnisse und die Auswertung derselben statt. Zuletzt werden in Kapitel 5 die Erkenntnisse aus der vorhergehenden Auswertung noch einmal zusammengefasst und die angewandte Messmethode bewertet.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Ansatz

Um die Auswirkung von unterschiedlicher Signaldynamik auf Aussteuerungsmessgeräte zu untersuchen, ist es sinnvoll, zunächst einen Überblick über gängige Gerätetypen zu erstellen. Die Funktionsweise und der Aufbau eines VU-Meters werden dafür beispielhaft für ein selbstmontiertes Gerät erläutert. Durch das Verständnis der verschiedenen Messmethoden können die Ergebnisse der Untersuchung besser interpretiert werden. Darüber hinaus soll festgelegt werden, durch welche Parameter die Signaldynamik beim Messversuch variiert werden soll.

2.2 Aussteuerungsmessgeräte

Um eine verfügbare Systemdynamik möglichst optimal zu nutzen und Übersteuerungen vorzubeugen, werden Aussteuerungsmessgeräte als optische Kontrolle des Signalpegels verwendet. Darüber hinaus bieten sie eine Möglichkeit, das Audiomaterial besser an die Pegel anderer Aufnahmen, bzw. anderer Programminhalte anzupassen (vgl. Weinzierl 2008: 552).

Für die Kontrolle des momentanen Pegels existieren zwei grundlegende Gerätetypen, das VU-Meter und das Peak programme level meter (PPM) oder Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgerät.

Die vorgegebenen Eigenschaften und der Aufbau des VU-Meters finden sich in DIN IEC 268-17 (Deutsches Institut für Normung e.V. 1992). Beim VU-Meter handelt es sich um ein elektromechanisches Messinstrument, welches hauptsächlich aus einem Messwerk mit vorgeschaltetem Vollweggleichrichter und einem Abschwächer mit einstellbarer Dämpfung besteht. Die Anzeige verläuft linear, die Skala hingegen logarithmisch (siehe Abbildung 2.1).

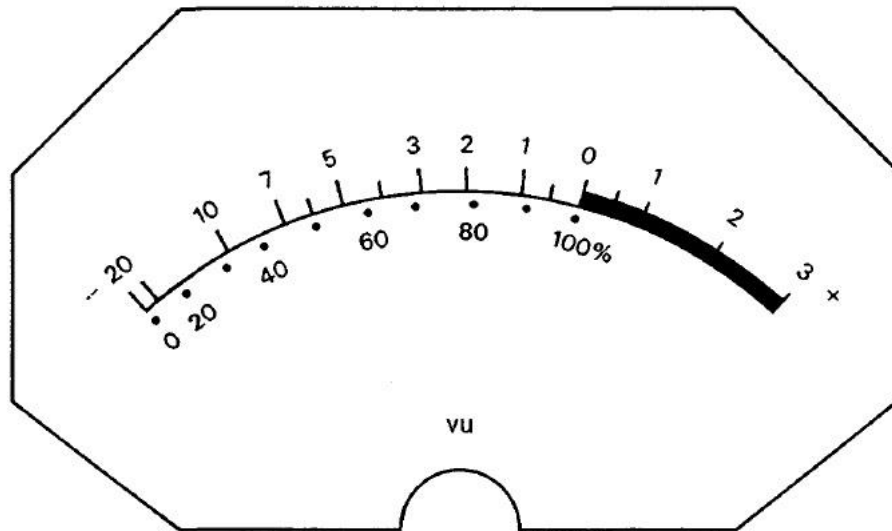


Abbildung 2.1: Muster des allgemein verwendeten Skalentyps für VU-Meter aus (Deutsches Institut für Normung e.V. 1992: 5)

Die Eigenschaften und unterschiedlichen Ausführungen von Spitzenspannungsaussteuerungsmessgeräten werden in DIN IEC 60268-10 (Deutsches Institut für Normung e.V. 1994) beschrieben. Neben einem Gleichrichter und einer Integrationsschaltung, enthält der Aufbau oft Elemente, die eine ungefähr logarithmische Beziehung zwischen dem gemessenen Spitzenspannungswert und der Anzeige des Gerätes herstellen. Die Anzeige ist bei den meisten Geräten gestuft (siehe Abbildung 2.2). Aufgrund unterschiedlicher Traditionen und Standards finden mehrere unterschiedliche Anzeigetypen Verwendung. Eine genaue Erläuterung der verschiedenen Anzeigen liefert z.B. Weinzierl (vgl. Weinzierl 2008: 556 f.). Die in DIN IEC 60268-10 beschriebenen Geräte dienen allerdings nur zur Darstellung des sogenannten „Quasi-Spitzenpegels“. Besonders kurze Spannungsspitzen, welche für den Zuhörer nicht erfassbar und damit nicht relevant sind, werden dabei ignoriert (Ballou 2015: 110). Gerade aber für die Anforderungen einer digitalen Aufnahmeumgebung, bei der auch kurze Übersteuerungen zu deutlich hörbaren Verzerrungen führen, wird in ITU-R BS.1770-4 (International Telecommunication Union 2015: 16 f.) ein Algorithmus für die Berechnung des „True-Peak“-Wertes präsentiert. Dieser basiert hauptsächlich auf ein over-sampling des zu messenden Signals, so dass auch kürzeste Amplituden erfasst werden können.

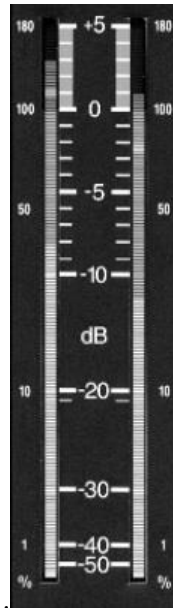


Abbildung 2.2: Anzeige eines Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgerät mit DIN Skala nach DIN IEC 60268-10 aus (Weinzierl 2008: 557)

Während Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgeräte den Scheitelwert durch kurze Mittelungszeiten (Samplegenau bis 10ms) möglichst exakt anzeigen sollen (vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. 1994: 6), misst das VU-Meter aufgrund der vergleichsweise langen Einschwingzeit ($300\text{ms} \pm 10\%$ nach DIN IEC 60268-17) „[...]einen Wert zwischen dem Gleichrichtwert und dem Effektivwert“ (Weinzierl 2008: 558). Damit entspricht das Anzeigeverhalten des VU-Meters im Gegensatz zu Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgeräten eher dem menschlichen Hörempfinden (vgl. Shepherd 2008: 304). Auch wenn VU-Meter heutzutage immer seltener Verwendung finden, lohnt sich eine genauere qualitative Einschätzung der Geräte nicht zuletzt aufgrund dieser Eigenschaft. Es ist nicht auszuschließen, dass diese Art der Aussteuerungsmesser auch weiterhin, bzw. noch für längere Zeit als kostengünstige Alternative existent bleiben wird.

Die wichtigsten, in den entsprechenden Normen definierten Eigenschaften beider Gerätetypen werden von Weinzierl übersichtlich zusammengefasst (siehe Tabelle 2.1). Dabei beziehen sich die Angaben aus DIN IEC 60268-17 auf VU-Meter, solche aus DIN IEC 60268-10 auf Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgeräte.

Eigenschaft	Bedeutung / Messverfahren	Standard
Bezugsanzeige	Jedes Instrument hat einen Referenzpunkt auf seiner Anzeige. Dieser Referenzpunkt ist per se keinem bestimmten Signalpegel zugeordnet, soll jedoch so gewählt sein, dass er vom Programmpegel nur selten überschritten wird.	DIN IEC 60268-10 DIN IEC 60268-17 ITU-T J.27
Bezugs-Eingangsspannung (Bezugspegel)	Effektivwert eines stationären Sinussignals von 1000 Hz, der die Bezugsanzeige ergibt.	DIN IEC 60268-10 DIN IEC 60268-17
Integrationszeit	Dauer eines Tonimpulses eines 5 kHz-Sinussignals bei Bezugspegel, die eine Anzeige 2 dB unter Bezugsanzeige ergibt.	DIN IEC 60268-10
Einschwingzeit	Zeit, in der der Zeiger bei Anlegen des Bezugspegels 99 % der Bezugsanzeige erreicht.	DIN IEC 60268-17
Rücklaufzeit	Zeit, in der die Anzeige nach dem Abschalten eines stationären Eingangssignals von der Bezugsanzeige auf einen definierten Punkt der Skala abfällt.	DIN IEC 60268-10 DIN IEC 60268-17

Tabelle 2.1: Spezifische Eigenschaften von Aussteuerungsmessgeräten aus (Weinzierl 2008: 555)

Darüber hinaus werden Messgeräte zur Kontrolle der Lautstärke von Audiomaterial eingesetzt. Neben Maßnahmen wie der Einbeziehung des menschlichen Hörempfindens, basieren die gängigsten Algorithmen für die Messung der Lautstärke auf der Erfassung des Effektivwertes (vgl. International Telecommunication Union 2015: 3, 8) über längere Mittellungszeiten (vgl. Weinzierl 2008: 555) und teilweise auch über den kompletten Programminhalt (vgl. European Broadcasting Union 2014: 5).

Das dynamische Verhalten der Geräte wird beim VU-Meter durch die Angabe von Einschwingzeit, Rücklaufzeit und dem Überschwingverhalten charakterisiert. Die Spitzenspannungsaussteuerungsmessgeräte werden in dieser Hinsicht durch die Angabe von Verzögerungszeit (entspricht sinngemäß der Einschwingzeit beim VU-Meter), Integrationszeit (siehe Tabelle 2.1), Überschwingverhalten (entspricht sinngemäß der für VU-Meter vorgeschriebenen Angabe) und Rücklaufzeit charakterisiert. Darüber hinaus soll das dynamische Verhalten bei letzteren durch die Ergebnisse einer Messung mit Sinus-Spannungsimpulsen fester Frequenz, bei der die Impulsdauer verkürzt und die entsprechenden angezeigten Pegel festgehalten werden, angegeben werden. Außerdem sind noch weitere Messungen, bei denen jeweils Impulsdauer, Amplitude oder Frequenz variiert werden, vorgegeben. Abgesehen davon, dass die genannten Angaben nur bedingt ihren Weg in die Datenblätter ent-

sprechender Geräte finden¹, könnte die Beschreibung der dynamischen Eigenschaften für den Endbenutzer etwas einheitlicher formuliert und dargestellt werden.

Zusammenfassend lassen sich also zunächst als für die Aussteuerungsmessung entscheidende Werte der Scheitelwert (Peak), der Gleichrichtwert (ARV) und der Effektivwert (RMS) benennen. Außerdem scheinen Vorgaben für eine einheitliche Darstellung des dynamischen Verhaltens der Geräte, die in Umfang und Verständlichkeit der Angabe in Datenblättern/Bedienungsanleitungen angemessen sind, zu fehlen.

2.3 Aufbau und Funktionsweise des selbstmontierten VU-Meters

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Qualitäten der gemessenen Geräte hinsichtlich der aus den Messergebnissen resultierenden Erkenntnissen, wurde neben für den professionellen Einsatz hergestellten Messinstrumenten außerdem noch ein aus vorgefertigten Elementen zusammengesetztes VU-Meter in die Messung mit einbezogen.

Als Beispiel für den Aufbau und die Funktionsweise von VU-Metern sollen an dieser Stelle die Komponenten dieses selbstmontierten Gerätes etwas genauer betrachtet werden.

Als Messwerk mit entsprechender Skala wurde das SEW ST-475 verwendet² (siehe Abbildung 2.3). Dabei handelt es sich um ein Drehspulmesswerk mit Kernmagnet (siehe Abbildung 2.4). Durch den im Inneren einer drehbar gelagerten Spule liegenden Dauermagneten wird ein homogenes Magnetfeld erzeugt. Durch Anlegen einer Spannung an die Drehspule und den daraus resultierenden Stromfluss entsteht in Kombination mit dem Magnetfeld ein elektrisches Drehmoment, welches ein Ausschlagen des Zeigers bewirkt (vgl. Felderhoff: 87 f.).

¹ z.B. beim RTW 1206D (RTW 2004:2)

² Für weitere Informationen siehe (SEW o.J)



Abbildung 2.3: SEW ST-475

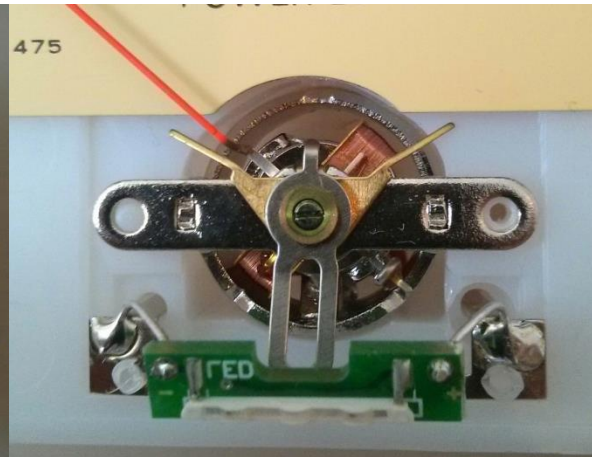


Abbildung 2.4: Drehspulmesswerk des SEW ST-475

Mithilfe einer vorgefertigten Platine (siehe JLM Audio o.J.) wurde eine Schaltung erstellt deren Aufbau in Abbildung 2.5 ausschnittsweise zu sehen ist. Andere Teile des Schaltplans betreffen die Spannungsversorgung und die Ansteuerung einer optionalen LED Peak-Anzeige.

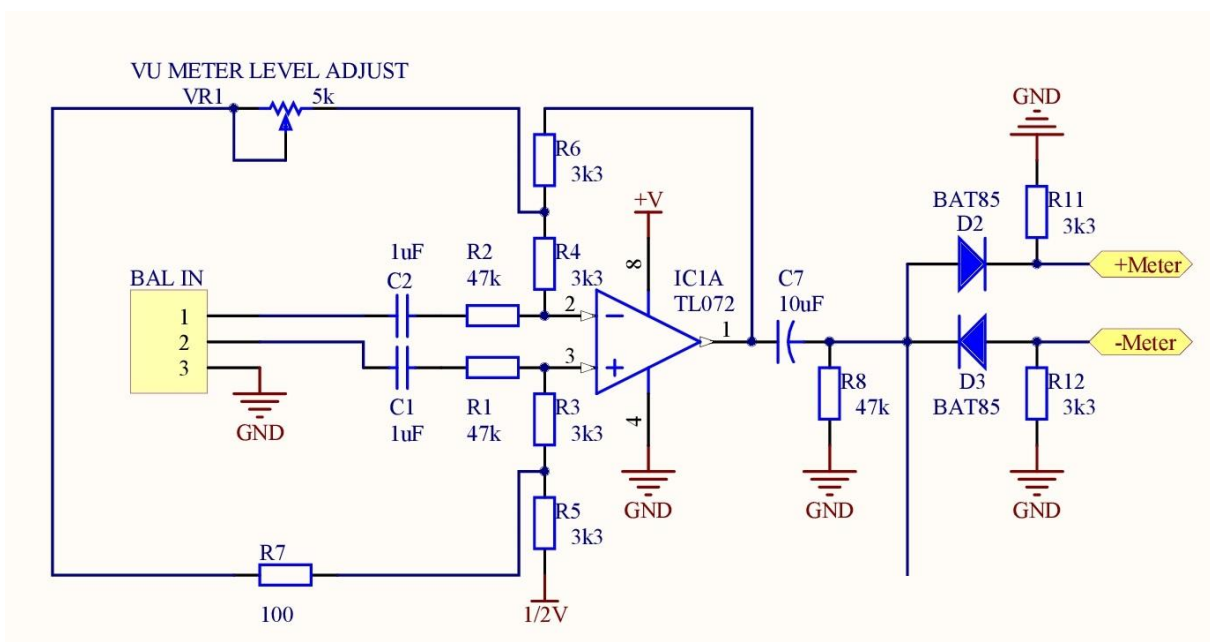


Abbildung 2.5: Ausschnitt des Schaltplans des JLM Audio VU-Meter Buffers aus (JLM Audio 2013)

Hauptaufgabe der Schaltung ist es, das anliegende Signal mittels des TL072 möglichst verzerrungs- und rauscharm zu verstärken, wobei die Höhe der resultierenden Spannung über den verstellbaren Widerstand VR1 gesteuert werden kann. Die Dioden D2 und D3 dienen dann als Gleichrichter. Dies ist notwendig, da die Ausschlagsrichtung des Drehspulmesswerks von der Polung der anliegenden Spannung, sprich der Stromrichtung, abhängt.

Die fertige Schaltung ist in Abbildung 2.6 zu sehen.

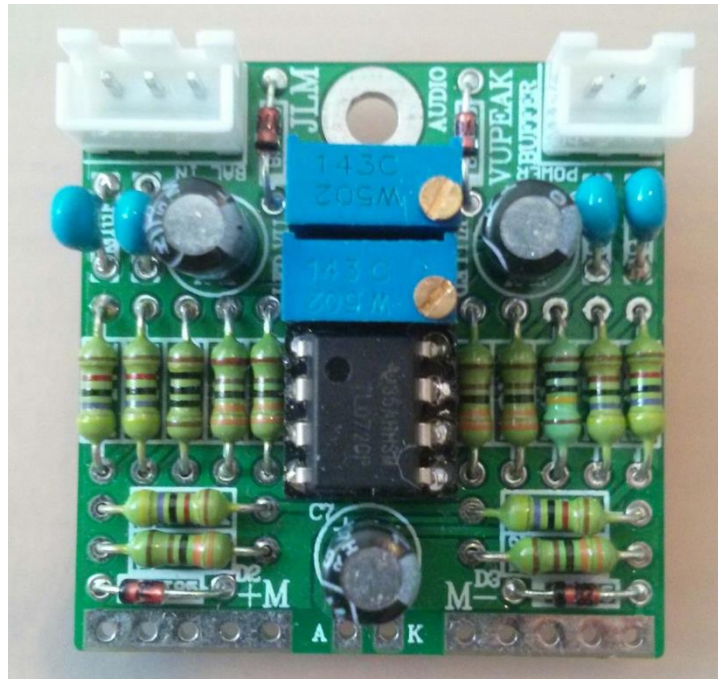


Abbildung 2.6: Fertiggestellter JLM Audio VU-Meter Buffer

2.4 Signaldynamik

Als geeigneter Indikator für die Dynamik von Audiosignalen bietet sich der Scheitelfaktor oder Crest-Faktor an³. Dieser drückt das Verhältnis vom Scheitelwert \hat{u} zum Effektivwert U einer Wechselspannung aus. Die Formel für den Effektivwert einer periodisch zeitabhängigen Spannung u lautet:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (2.1)$$

(Vgl. Hagmann 2011: 207)

³ Der Crest-Faktor wird z.B. bei der Software „TT Dynamic Range Meter“ zur Erfassung der Dynamik von Audiosignalen verwendet (vgl. Pleasurize Music Foundation: 12)

Der Crest-Faktor σ ist definiert als:

$$\sigma = \frac{\hat{u}}{U} \quad (2.2)$$

(Vgl. Hagmann 2011: 211)

Da der Crest-Faktor bei Musikproduktion von über 10 dB bis 20 dB variieren kann, würden sich auch die angezeigten Werte eines Aussteuerungsmessgerätes, je nachdem ob der Effektivwert oder die Amplitude gemessen wird, um diesen Faktor unterscheiden (vgl. Rane Corporation o.J.).

Um die Dynamik, also den Crest-Faktor, eines Signals zu verändern, bietet es sich an den Effektivwert des Signals zu beeinflussen. Dies lässt sich bei der Verwendung eines gepulsten Signals durch unterschiedliche Tastgrade erreichen. Der Tastgrad g beschreibt das Verhältnis von Impulsdauer τ zu Periodendauer T und ist definiert als:

$$g = \frac{\tau}{T} \quad (2.3)$$

(Vgl. Freyer 2013: 23)

Wie genau sich der Tastgrad auf den Effektivwert des Signals und somit auf dessen Crest-Faktor auswirkt, lässt sich anhand einer Rechteckimpulsspannung erkennen, für deren Effektivwert in Abhängigkeit des Tastgrades gilt:

$$U = \sqrt{\frac{\tau}{T}} \cdot \hat{u} \quad (2.4)$$

(Vgl. Bastian 2012: 131)

Geht man von einem Sinussignal aus, lässt sich damit der genannte Zusammenhang für den Effektivwert folgendermaßen beschreiben:

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{T}} \quad (2.5)$$

Zusammenfassend lässt sich die Dynamik eines gepulsten Sinussignals also durch den Crest-Faktor ausdrücken, welcher bei gleichbleibender Amplitude durch die Änderung des Tastgrades, und somit des Effektivwertes beeinflusst werden kann.

Der Gleichrichtwert sowie die Amplitude des Sinussignals können darüber hinaus bei gekanntem Effektivwert mittels der folgenden Formeln berechnet werden. Für den Gleichrichtwert $|\bar{u}|$ gilt:

$$|\bar{u}| = \frac{2}{\pi} \hat{u} \quad (2.6)$$

(Vgl. Hagmann 2011: 205)

Für die Amplitude \hat{u} gilt:

$$\hat{u} = U \cdot \sqrt{2} \quad (2.7)$$

(Vgl. Hagmann 2011: 208)

Die beschriebenen Zusammenhänge zwischen Crest-Faktor/Tastgrad und den für ein Sinussignal messbaren Werten sind im Folgenden tabellarisch (siehe Tabelle 2.2) und grafisch (siehe Abbildung 2.7) dargestellt.

Duty Cycle	Crest-Faktor in dB	Peak in dB	RMS in dB	ARV in dB
1	3,0	0,0	-3,0	-3,9
1/2	6,0	0,0	-6,0	-9,9
1/3	7,8	0,0	-7,8	-13,5
1/4	9,0	0,0	-9,0	-16,0
1/5	10,0	0,0	-10,0	-17,9
1/6	10,8	0,0	-10,8	-19,5
1/7	11,5	0,0	-11,5	-20,8
1/8	12,0	0,0	-12,0	-22,0
1/9	12,6	0,0	-12,6	-23,0
1/10	13,0	0,0	-13,0	-23,9
1/11	13,4	0,0	-13,4	-24,7
1/12	13,8	0,0	-13,8	-25,5
1/13	14,1	0,0	-14,1	-26,2
1/14	14,5	0,0	-14,5	-26,8
1/15	14,8	0,0	-14,8	-27,4
1/16	15,1	0,0	-15,1	-28,0
1/17	15,3	0,0	-15,3	-28,5
1/18	15,6	0,0	-15,6	-29,0
1/19	15,8	0,0	-15,8	-29,5
1/20	16,0	0,0	-16,0	-29,9
1/30	17,8	0,0	-17,8	-33,5
1/50	20,0	0,0	-20,0	-37,9

Tabelle 2.2: Tabellarische Übersicht über den Zusammenhang zwischen Duty Cycle, Crest-Faktor, Peak, RMS und ARV

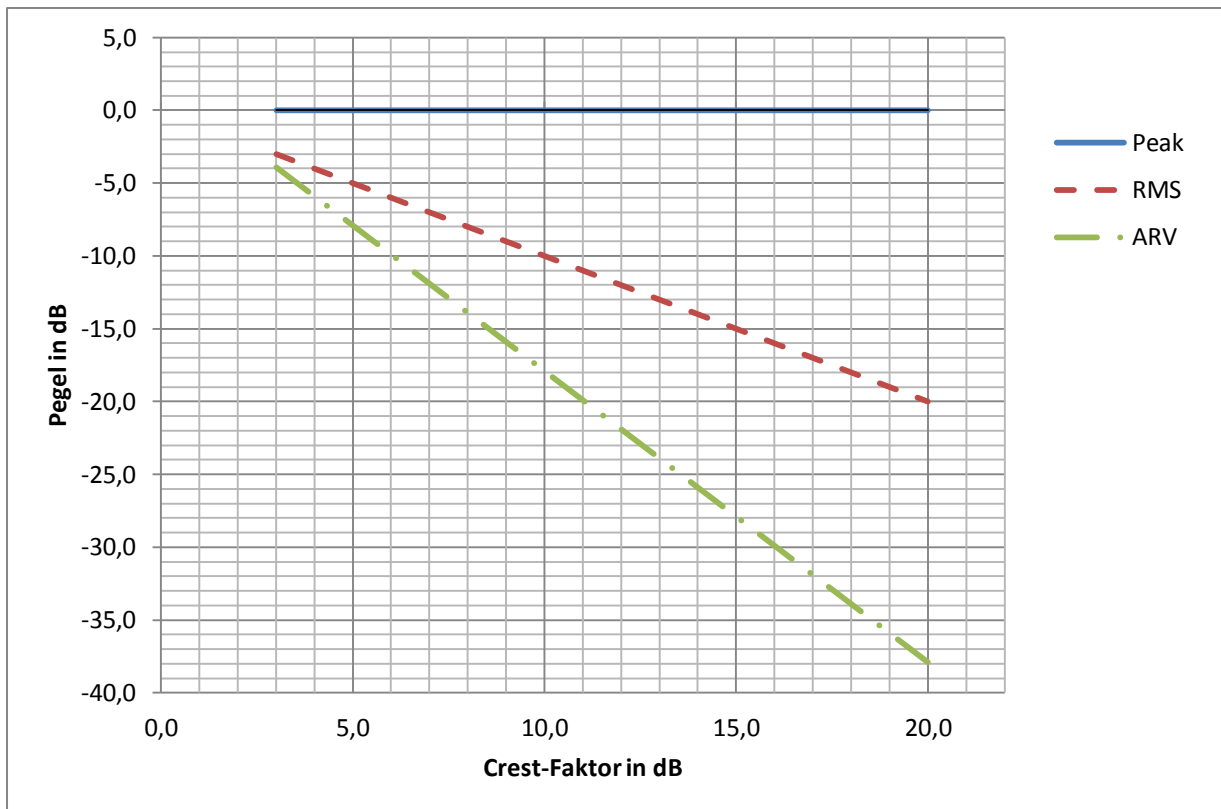


Abbildung 2.7: Abbildung von Peak, RMS und ARV als Funktion des Crest-Faktors

Ideale Messgeräte würden, je nachdem ob sie den Peak-, RMS-, oder ARV-Wert eines Signals messen sollen, exakt jene Pegel aus Tabelle 2.2 anzeigen. Anhand der Darstellung in Abbildung 2.7 lässt sich gut erkennen wie stark sich die Dynamik des Signals dabei auf die jeweils angezeigten Pegel auswirkt.

3. Messaufbau und Durchführung der Messungen

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 angeführten Informationen und Überlegungen gestaltet sich der Versuchsaufbau nach dem Vorbild der von Acuña durchgeführten Messung (vgl. Acuña 2015) wie folgt: Mittels eines gepulsten Sinussignals wird das Dynamische Verhalten unterschiedlicher Aussteuerungsmessgeräte durch Änderung der Impulsdauer untersucht.

3.1 Verwendete Hard- und Software

Zur Generierung des Signals wurde die freie Audioeditor-Software „Audacity“ genutzt⁴. Das Abspielen und Editieren des Signals für die Messungen geschah mit der Software „Studio One 3 Prime“ der Firma „PreSonus“, bei der es sich um eine kostenlose Testversion der DAW-Software handelt⁵. Die Wiedergabe fand über einen symmetrischen Ausgang des USB-Interfaces „Saffire 6 USB“ der Firma „Focusrite“ statt⁶.

Um einer Verfälschung der Messwerte vorzubeugen, wurde die Linearität des Ausgangs des USB-Interfaces im Vorfeld per Messung bei etwa 90% der maximal am Interface einstellbaren Verstärkung überprüft (siehe Tabelle 3.1). Oberhalb von 3 dBFS setzen die zu erwartenden Verzerrungen ein, unterhalb dieses Grenzwertes arbeitet das Interface ausreichend linear. Gemessen wurde bei einem kontinuierlichen Sinussignal mit einer Frequenz von 1000Hz.

Zur Wechselspannungsmessung wurde das Digitalmultimeter „Hyelec MS8233D“ verwendet⁷.

⁴ Für weitere Informationen siehe (Audacity Development team o.J.)

⁵ Für weitere Informationen siehe (PreSonus 2015)

⁶ Für weitere Informationen siehe (Focusrite o.J.)

⁷ Für weitere Informationen siehe (Goods archive o.J.)

dBFS	Spannung am Ausgang in Volt	Spannung am Ausgang in dB
5	2,440	4,2
4	2,300	3,7
3	2,120	3,0
2	1,895	2,1
1	1,687	1,0
0	1,496	0,0
-1	1,341	-1,0
-2	1,195	-2,0
-3	1,064	-3,0
-4	0,948	-4,0
-5	0,844	-5,0
-6	0,752	-6,0
-7	0,670	-7,0
-8	0,597	-8,0
-9	0,531	-9,0
-10	0,473	-10,0
-15	0,264	-15,1
-20	0,147	-20,2
-25	0,082	-25,2
-30	0,047	-30,1
-50	0,004	-51,5

Tabelle 3.1: Gemessene Spannung am Ausgang des Saffire 6 USB Interfaces

3.2 Verwendete Aussteuerungsmessgeräte

Die für die Messung verwendeten Aussteuerungsmessgeräte entstammen unterschiedlichen Einsatzbereichen. So wurden neben Einzelgeräten z.B. Messinstrumente genutzt, welche in anderen Tontechnischen Geräten verbaut sind. Dadurch sollte überprüft werden, ob die Messmethode einheitlich auf Aussteuerungsmesser aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen und mit unterschiedlichen Anforderungen anwendbar ist und verwertbare Ergebnisse liefert. Sofern nicht genauer angegeben, wird für verbaute Messinstrumente im Folgenden der Name des gesamten Gerätes verwendet.

Da die von Acuña beschriebene Messmethode sich vornehmlich für VU-Meter eignet und für diese nur selten genauere Angaben über das dynamische Verhalten gemacht werden, bzw. diese sich bautechnisch bedingt durchaus unterscheiden können (vgl. Acuña 2015: 584), wurden hauptsächlich solche Geräte für die Messung ausgesucht.

Da die Messung vor allem auf eine genauere Charakterisierung der Geräte in Bezug auf Messgenauigkeit und dynamisches Verhalten abzielt und einheitlich anwendbar sein soll, wird an dieser Stelle nicht

genauer auf die für die Geräte diesbezüglich angegebenen Informationen eingegangen. Die aus der Messung gewonnenen Daten sollen auch ohne genauere Kenntnis der Eigenschaften der einzelnen Messinstrumente auswertbar sein.

Gemessen wurde mit folgenden Geräten:

- Ein RTW 1204A Peakmeter⁸, betrieben mit 10 ms Integrationszeit (siehe Abbildung 3.2).
- Das eigens montierte VU Meter, dessen Aufbau in Kapitel 2.3 genauer beschrieben wird (siehe Abbildung 3.1).
- Ein DK-Audio MSD100T⁹, betrieben im VU-Modus (siehe Abbildung 3.3). Es handelt sich hierbei um ein Gerät mit analogen Eingängen und digitaler Anzeige, welches in unterschiedlichen Modi betrieben werden kann.
- Ein im API 2500 Stereo Compressor¹⁰ verbautes VU-Meter (siehe Abbildung 3.4).
- Ein im Solid State Logic C200 HD¹¹ Mischpult verbautes VU-Meter (siehe Abbildung 3.5).



Abbildung 3.1: Anzeige des beim selbstmontierten VU-Meter verwendeten SEW ST-745

⁸ Für weitere Informationen siehe (RTW o.J.)

⁹ Für weitere Informationen siehe (DK-Audio o.J.)

¹⁰ Für weitere Informationen siehe (API o.J.)

¹¹ Für weitere Informationen siehe (Solid State Logic 2011)



Abbildung 3.2: RTW 1204A

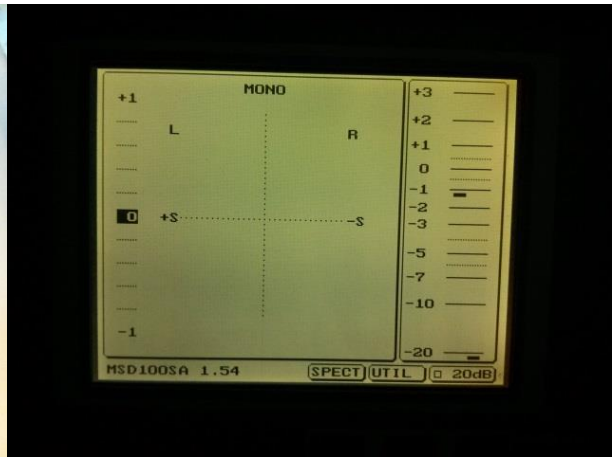


Abbildung 3.3: Anzeige des DK-Audio MSD100T im VU-Modus



Abbildung 3.4: Anzeige der VU-Meter des API 2500 Stereo Compressor



Abbildung 3.5: Anzeige des VU-Meters des Solid State Logic C200 HD

3.3 Messmethode

Für jedes Aussteuerungsmessgerät wurden die beiden folgenden Messungen durchgeführt:

1. Eine Messung mit kontinuierlichem Sinussignal, wobei die Ausgangsspannung bei 0 dBFS durch entsprechendes Einstellen des Ausgangspegels des USB-Interfaces auf 0 dB (bzw. 0 VU) Anzeige auf dem Aussteuerungsmesser eingestellt wird. Der entsprechende Effektivwert der Spannung wird für ein Signal mit der Frequenz 1000 Hz gemessen und festgehalten. Dann wird der Pegel in dBFS verändert, bis die ablesbaren Pegel (Je nach Gerät/Skala unterschiedlich) erreicht werden. Festgehalten werden dann die den angezeigten Pegeln entsprechenden Werte in dBFS. Aus diesen lassen sich mithilfe der Kenntnis des Effektivwertes bei 0 dBFS die entsprechenden Effektiv-, Gleichricht- und Scheitelwerte rechnerisch bestimmen.

2. Um schließlich das dynamische Verhalten der Aussteuerungsmessgeräte zu untersuchen, wird der Pegel eines kontinuierlichen Sinussignals so eingestellt, dass er die höchstmögliche Anzeige auf dem Aussteuerungsmesser ergibt. Hiernach wird die Impulsdauer des Sinussignals verringert, bis die ablesbaren Pegel des Aussteuerungsmessers erreicht werden. Die den angezeigten Werten entsprechenden Tastgrade werden dabei festgehalten. Die Periodendauer ist dabei so zu wählen, dass das Messgerät zwischen den Impulsen seinen Ruhezustand, also den Zustand ohne angelegtes Signal, wieder erreicht hat. Dies entspricht der Vorgabe zur Messung des Dynamischen Verhaltens aus DIN IEC 60268-10 (Deutsches Institut für Normung e.V. 1994: 8). Die Messung beginnt daher mit einer Periodendauer, die dem doppelten der Rücklaufzeit des jeweiligen Gerätes entspricht, also bei einem Tastgrad von 0,5. Auch hier werden Effektiv-, und Gleichrichtwerte wieder rechnerisch bestimmt, während die Amplitude nicht verändert wird.

Beide Messmethoden wurden, einer von Acuña angeführten Empfehlung zur Erweiterung seines Messversuchs (Acuña 2015: 589) folgend, mit Sinussignalen unterschiedlicher Frequenzen durchgeführt. Die Auswahl der verwendeten Frequenzen, nämlich 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz, 16000 Hz, orientiert sich an der aus DIN EN ISO 266 entnommenen Vorgabe für Normfrequenzen und an dem für Tonproduktionen relevanten Frequenzbereich.

4. Auswertung der Messergebnisse

Bei der Auswertung der Messdaten sind vor allem die Unterschiede der Ergebnisse der beiden in Kapitel 3.3 beschriebenen Messungen zu betrachten. Das dynamische Verhalten der gemessenen Geräte lässt sich dadurch besser beurteilen, wenn das Anzeigeverhalten bei verändertem zugeführtem Signalpegel mit den angezeigten Werten bei Änderung des Pegels über den Crest-Faktor verglichen wird. Die jeweiligen Diagramme werden hierbei mit „Statisch“ oder „Dynamisch“ betitelt. Während beim ersteren 0 dB auf der Anzeige mit 0 dB RMS gleichgesetzt und zum Vergleich die Graphen für RMS-, ARV-, und Peak-Werte mit eingezeichnet werden, bietet es sich bei letzterem an, sowohl die Kurve für die RMS-, als auch für die ARV-Werte in der Darstellung auf 0 dB angezeigtem Pegel bei 0 dB Eingangspegel zu setzen. Dadurch wird besser ersichtlich, welchem Verhalten das Aussteuerungsmessgerät bei veränderter Signaldynamik am ehesten folgt. Der Peak-Wert bleibt dabei unverändert. Diese Form der Darstellung wird auch von Acuña verwendet (Acuña 2015: 586 f.).

Die den Geräten bei der Messung des dynamischen Verhaltens zugeführten Pegel lassen sich bei bekanntem Tastgrad/Crest-Faktor wie in Kapitel 2.2 beschrieben berechnen.

Ferner soll betrachtet werden, ob sich die Reaktionen bei kontinuierlichem oder gepulstem Signal bei unterschiedlichen Frequenzen unterscheiden.

Da je nach Gerät und Frequenz des Signals die untersten Werte der Skala nicht anders erreicht werden konnten, wurden der Vollständigkeit halber auch die Ergebnisse für Signale mit einer geringeren Dauer als einer Periode mit aufgenommen. Dies ist vor allem bei dem Peakmeter und bei Verwendung der niederfrequenten Signale der Fall.

Zu beachten sind für die Interpretation der Ergebnisse außerdem die unterschiedlichen bei der Messung verwendeten Periodendauern aufgrund der unterschiedlichen Rücklaufzeiten. Im Falle dieser Messreihe, konnte für alle VU-Meter, sowie für das DK-Audio MSD100T eine Rücklaufzeit von etwa 400 ms vom höchsten Punkt der Skala festgestellt werden. Beim RTW 1204A andererseits belief sich diese auf 2,5 s.

Im Folgenden werden die aus den Messdaten erstellten Diagramme für alle verwendeten Aussteuerungsmesser präsentiert und ausgewertet. Bei einem linearen Verlauf der Graphen wird auf die visuelle Darstellung verzichtet. Generell werden dabei die Messergebnisse für die Messung mit einem Signal mit der Frequenz 1000Hz dargestellt. Weichen die Messergebnisse bei anderen Signalfrequenzen stark ab, werden diese in einem zusätzlichen Diagramm präsentiert.

4.1 RTW 1204A

Während beim RTW 1204A die angezeigten Werte bei kontinuierlichem Testsignal über alle Frequenzen vollkommen korrekt den jeweils eingestellten Pegeln entsprechen, zeigen sich bei der Messung des dynamischen Verhaltens einige Unregelmäßigkeiten (siehe Abbildung 4.1). Bei einer Impulsdauer unterhalb der eingestellten Integrationszeit von 10 ms verringern sich, wie zu erwarten, die angezeigten Pegel. Allerdings muss z.B. bei 1000 Hz Signalfrequenz schon für angezeigte Werte unterhalb von -3dB die Impulsdauer kürzer gewählt werden als die einer Periode.

Insofern lässt sich das tatsächliche dynamische Verhalten nur bedingt aus den Ergebnissen ableiten, da nicht zu unterscheiden ist, was dem Einfluss der evtl. unterbrochenen Perioden und was dem tatsächlichen Verhalten bei veränderter Signaldynamik zuzuschreiben ist.

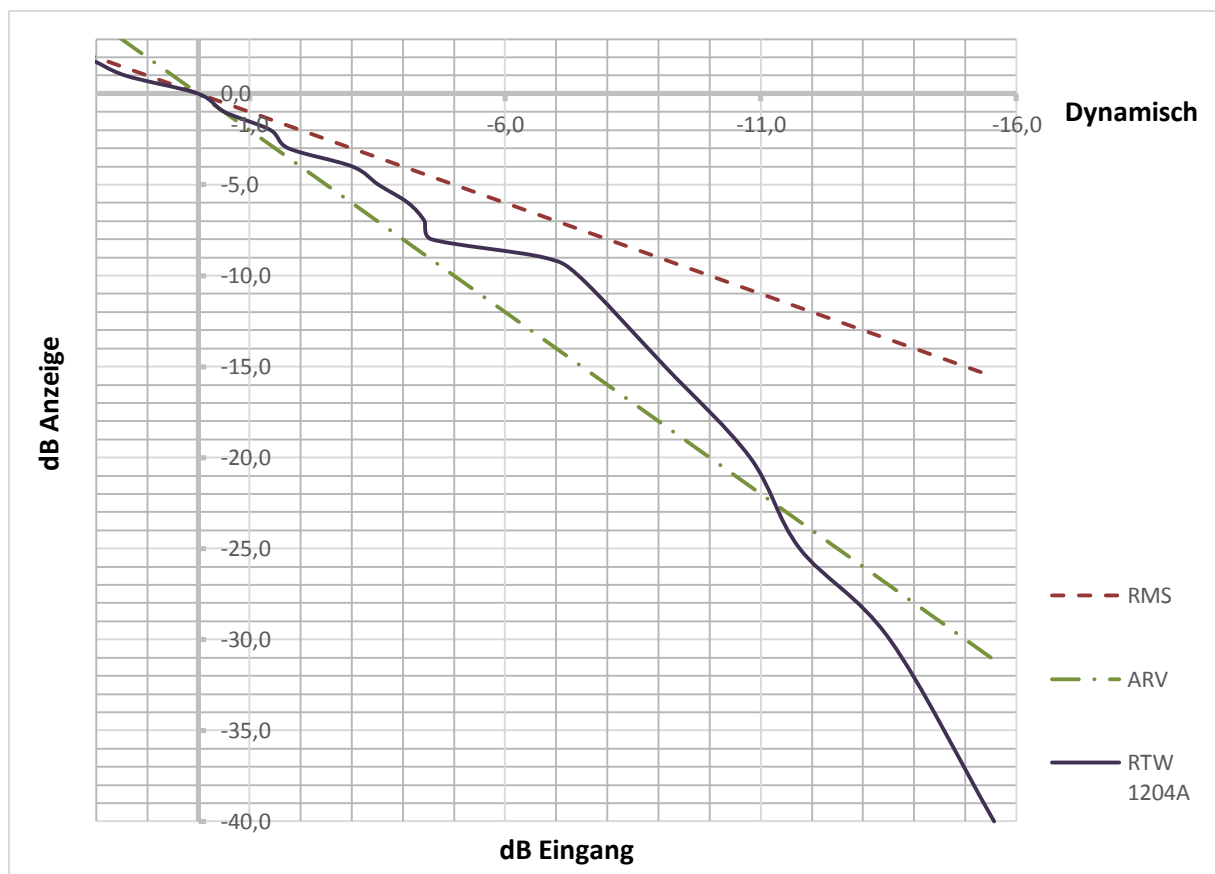


Abbildung 4.1: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des RTW 1204A bei einem Signal mit der Frequenz 1000 Hz

Aus der zuvor beschriebenen Problematik der zu kurzen Impulse dürften sich auch die unterschiedlichen Ergebnisse bei anderen Frequenzen ergeben (siehe Abbildung 4.2).

Bei höheren Frequenzen lässt sich aber ein dynamisches Verhalten des RTW1204A beobachten, das zwischen dem eines idealen RMS- und dem eines idealen ARV-Meters liegt.

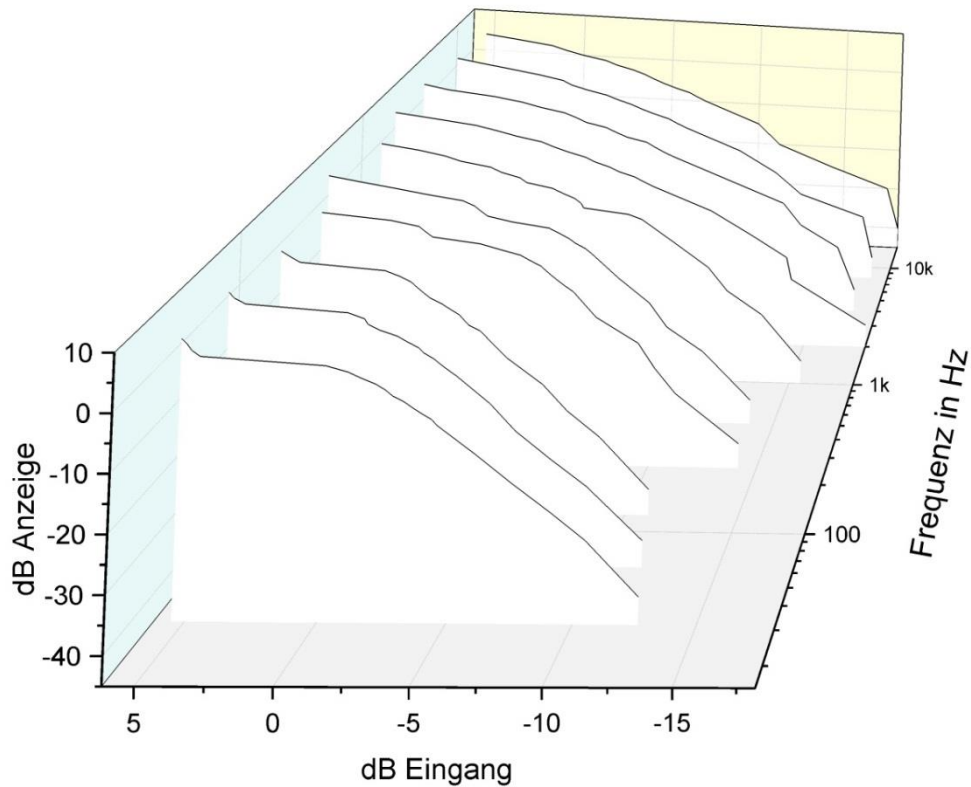


Abbildung 4.2: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des RTW 1204A mit Signalen unterschiedlicher Frequenzen

4.2 Selbstmontiertes VU-Meter

Bei der Messung mit einem kontinuierlichen Signal zeigt das VU-Meter ein sehr ungenaues Anzeigeverhalten (siehe Abbildung 4.3). Wäre das Gerät auf 0 VU bei 0 dB kalibriert, so würde es bei niedrigeren Eingangspegeln viel zu hohe Werte anzeigen, ab etwa -10dB sogar Werte oberhalb des Peakwertes. Dies lässt sich über alle getesteten Signalfrequenzen beobachten.

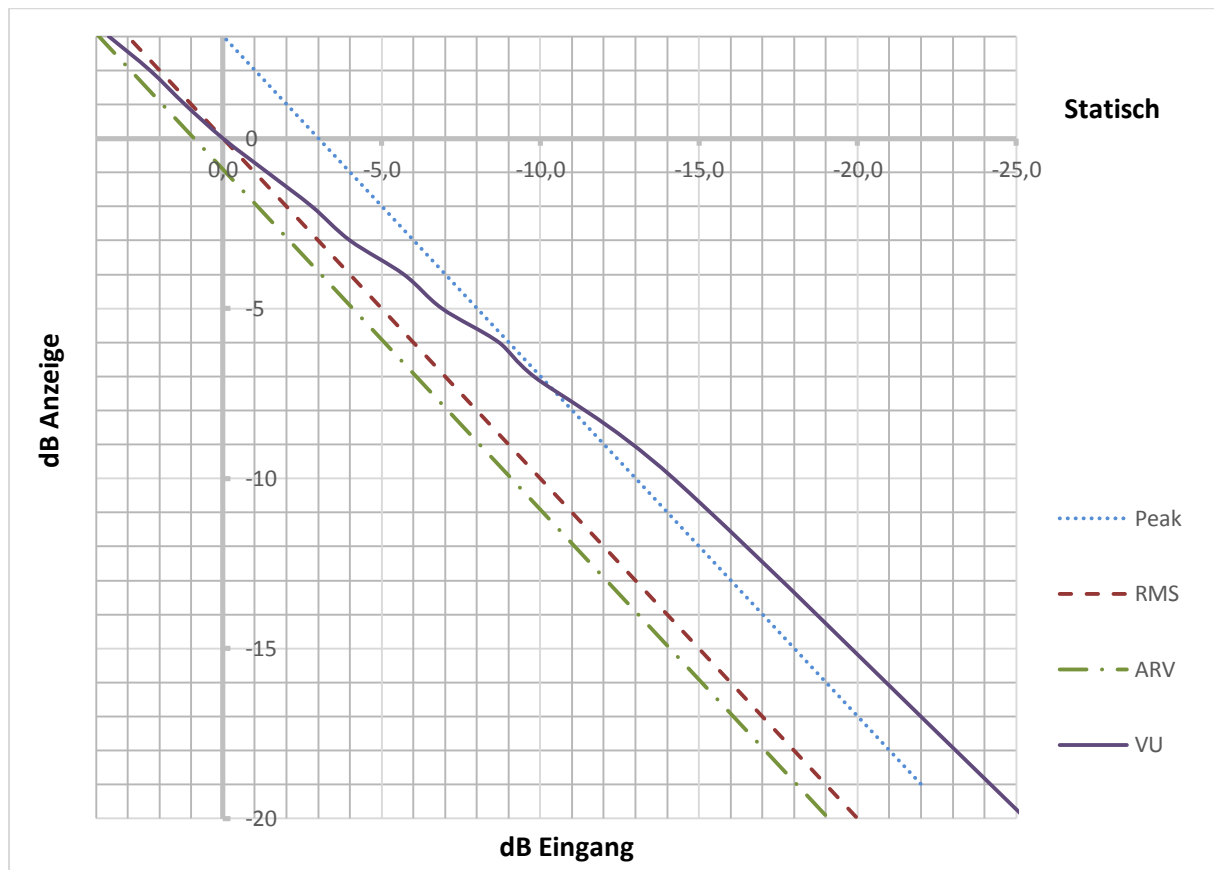


Abbildung 4.3: Darstellung der Ergebnisse der Messung des Selbstmontierten VU-Meters mit einem kontinuierlichen Signal mit der Frequenz 1000Hz

Im Gegensatz dazu präsentieren sich die Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens erstaunlich nah an den RMS-Werten (siehe Abbildung 4.4). Dieser Unterschied könnte dadurch erklärbar sein, dass das Messwerk zwar linear arbeitet, die Schaltung davor jedoch nicht. Bei gleicher Signalamplitude würde das Messgerät aber die RMS-Werte auch bei dynamischeren Signalen annähernd korrekt wiedergeben. Bei niedrigen Frequenzen zeigt sich ein anderes Verhalten (siehe Abbildung 4.5), was sich aber wiederum durch den Umstand erklären lässt, dass hierbei für die niedrigsten Werte der Skala Impulsdauern gewählt werden müssen, die die jeweiligen Periodendauern bei diesen Frequenzen unterschreiten. Ansonsten ist das dynamische Verhalten über alle gemessenen Frequenzen ähnlich.

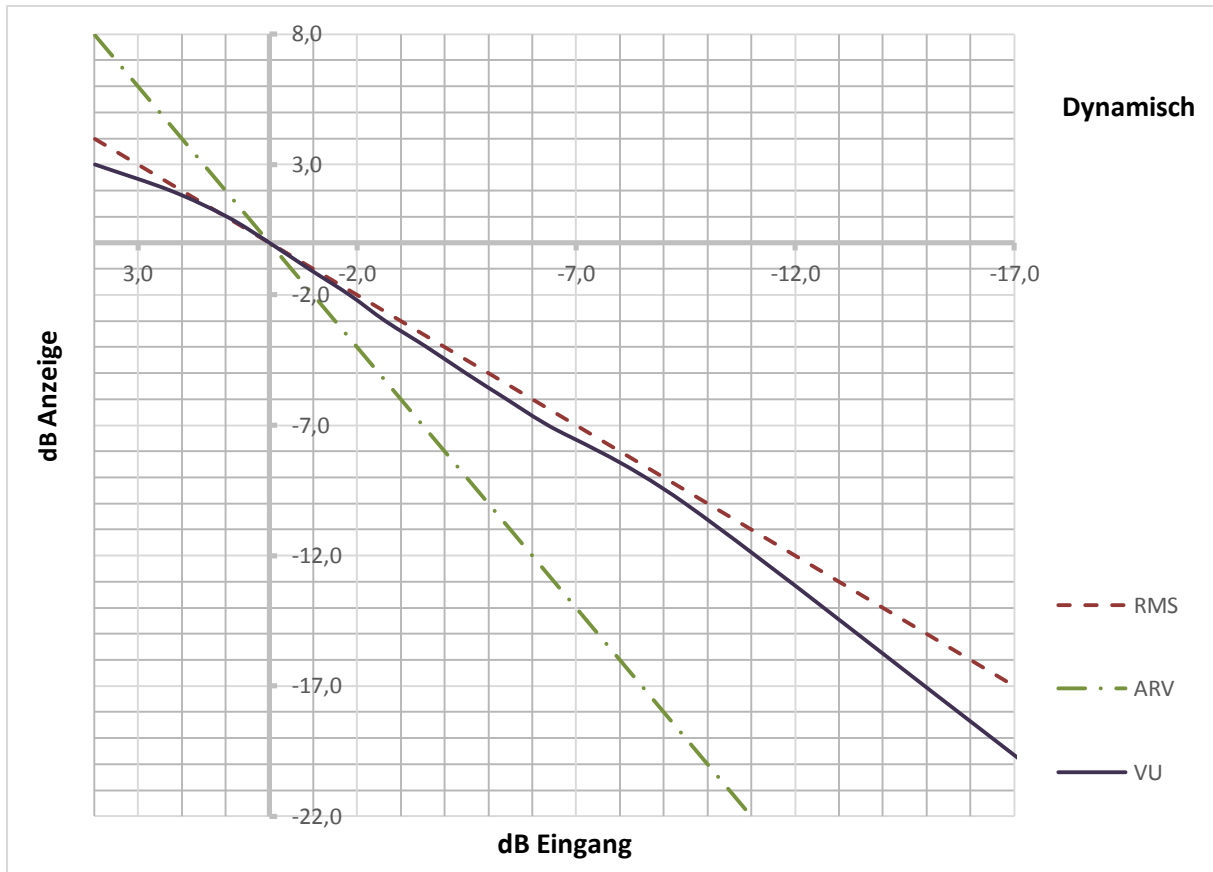


Abbildung 4.4: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des selbstmontierten VU-Meters mit einem Signal mit der Frequenz 1000 Hz

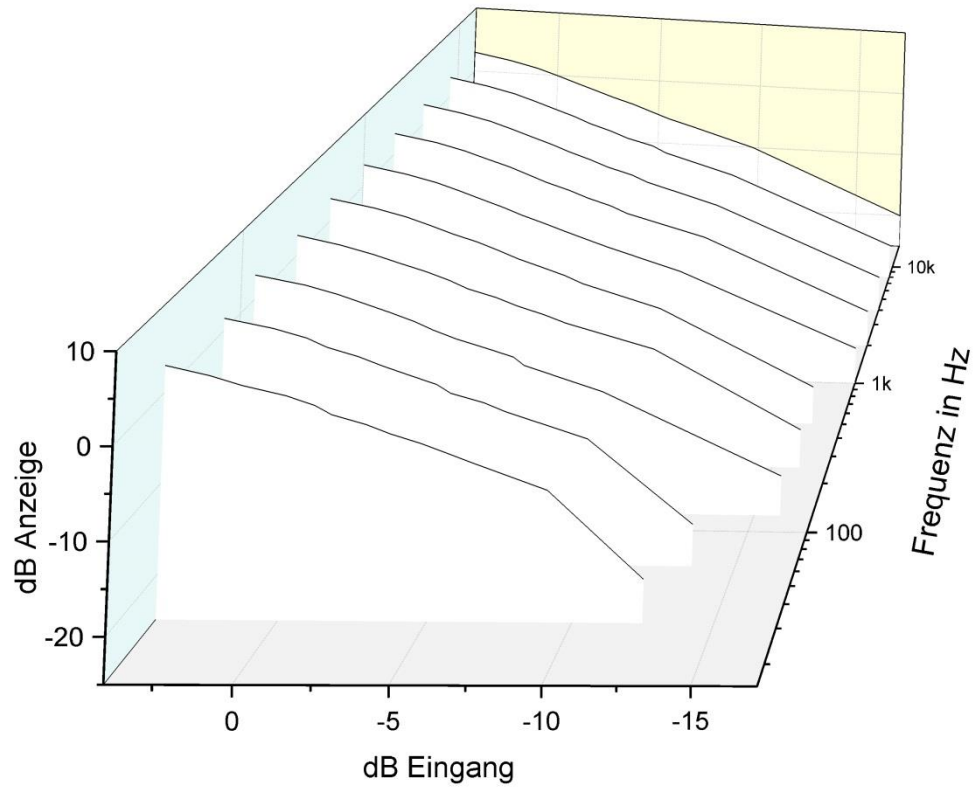


Abbildung 4.5: Darstellung der Ergebnisse der Messung des selbstmontierten VU-Meters Verhaltens des RTW 1204A mit Signalen unterschiedlicher Frequenzen

4.3 DK-Audio MSD100T

Auch dieses Gerät bildet die Pegel bei kontinuierlichem Signal korrekt ab. Bei der Messung des dynamischen Verhaltens (siehe Abbildung 4.6), zeigt sich, dass das MSD100T für dynamischere Signale Anzeigen zwischen dem RMS- und ARV-Wert liefert. Bei anderen Signalfrequenzen lassen sich Unregelmäßigkeiten erkennen (siehe Abbildung 4.7), die bei den niedrigen Frequenzen auch hier durch zu kurze Impulse zu erklären sind. Andere Abweichungen könnten den Berechnungs-/Messmethoden des Gerätes geschuldet sein. Die Eigenschaften eines VU-Meters werden also nur bedingt nachgebildet.

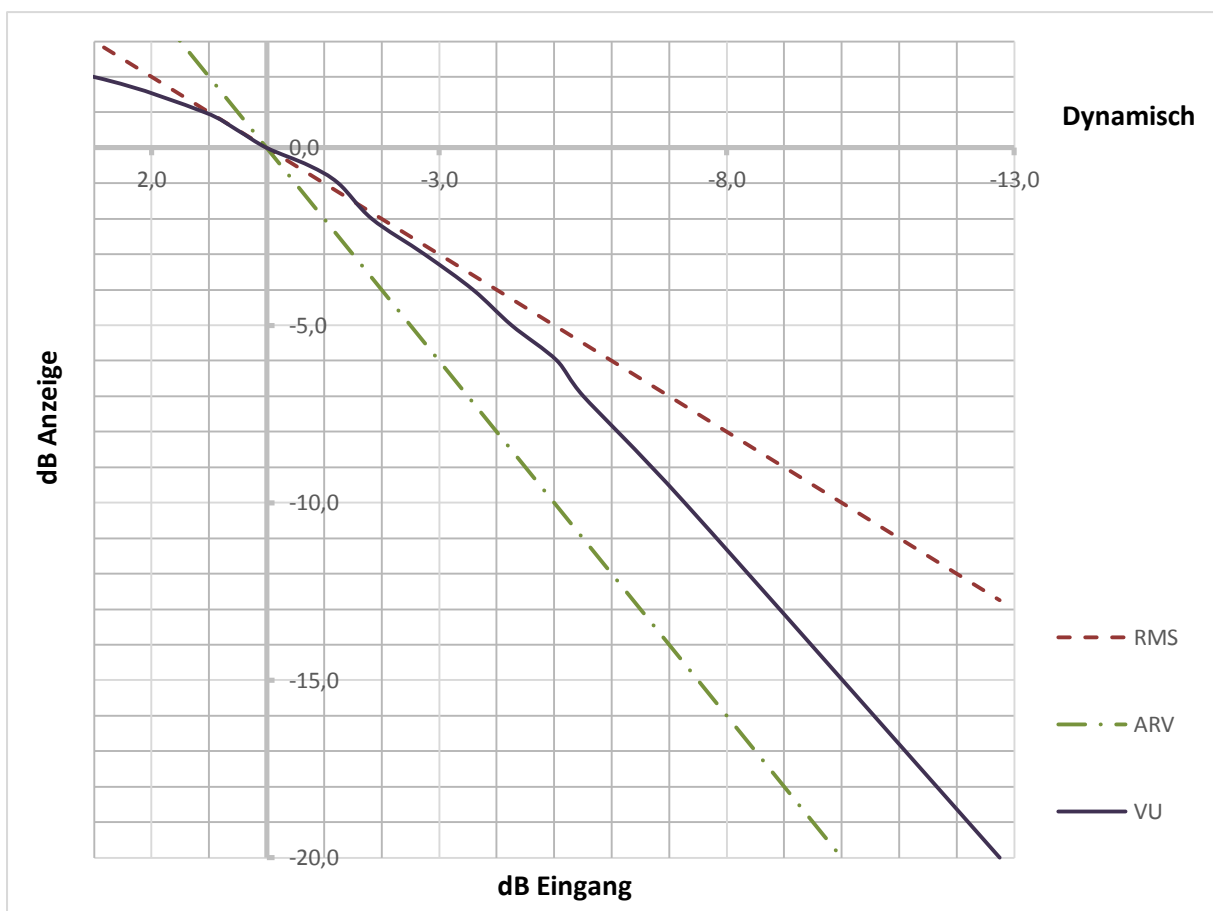


Abbildung 4.6: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des DK-Audio MSD100T mit einem Signal mit der Frequenz 1000 Hz

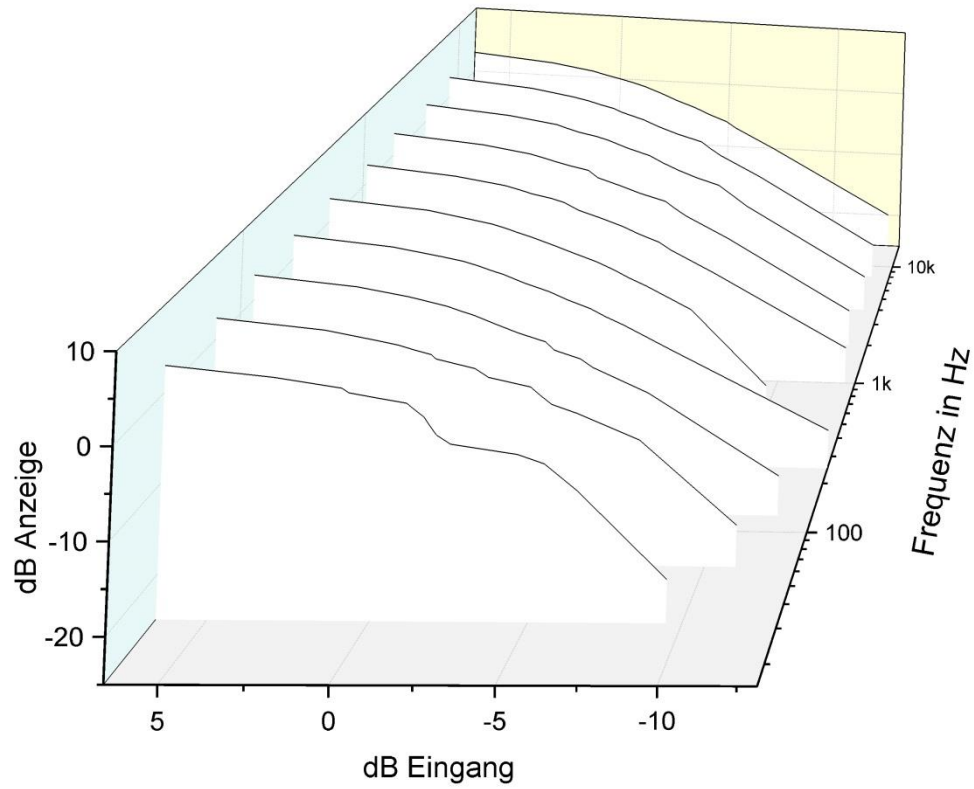


Abbildung 4.7: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des DK-Audio MSD100T mit Signalen unterschiedlicher Frequenzen

4.4 API 2500 Stereo Compressor

Die vom API 2500 angezeigten Werte fallen bei Verwendung des kontinuierlichen Messsignals bei niedrigeren Eingangspegeln zu hoch aus (siehe Abbildung 4.8). Bei Kalibrierung auf 0 dB RMS würde bei den untersten Skalenwerten annähernd der Peak-Wert angezeigt werden. Bei verschiedenen Signalfrequenzen lässt sich dabei keine Änderung feststellen.

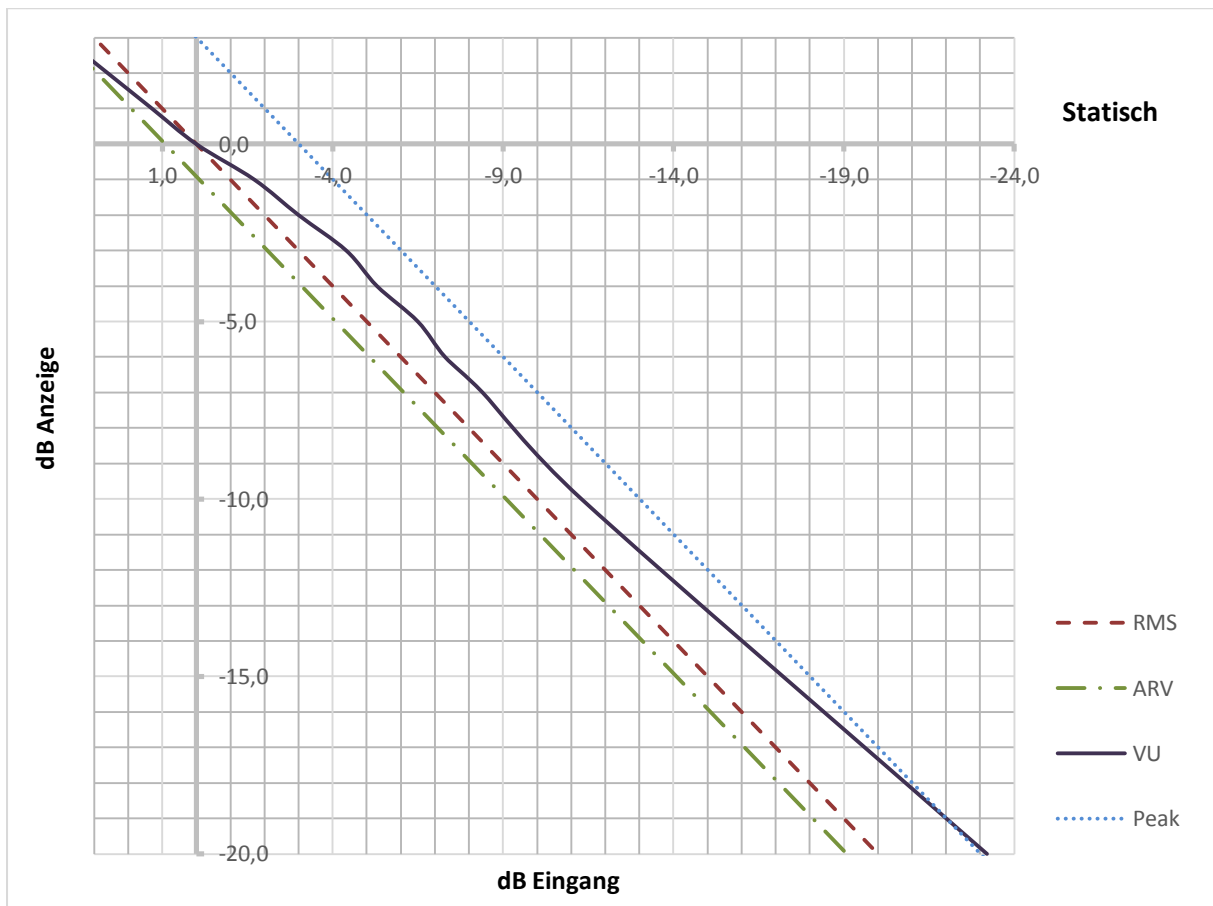


Abbildung 4.8: Darstellung der Ergebnisse der Messung des API 2500 Stereo Compressors mit einem kontinuierlichen Signal mit der Frequenz 1000Hz

Die Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens bewegen sich auch bei diesem VU-Meter nahe den RMS-Werten (siehe Abbildung 4.9). Die Ergebnisse sind bei allen gemessenen Signalfrequenzen beinahe identisch.

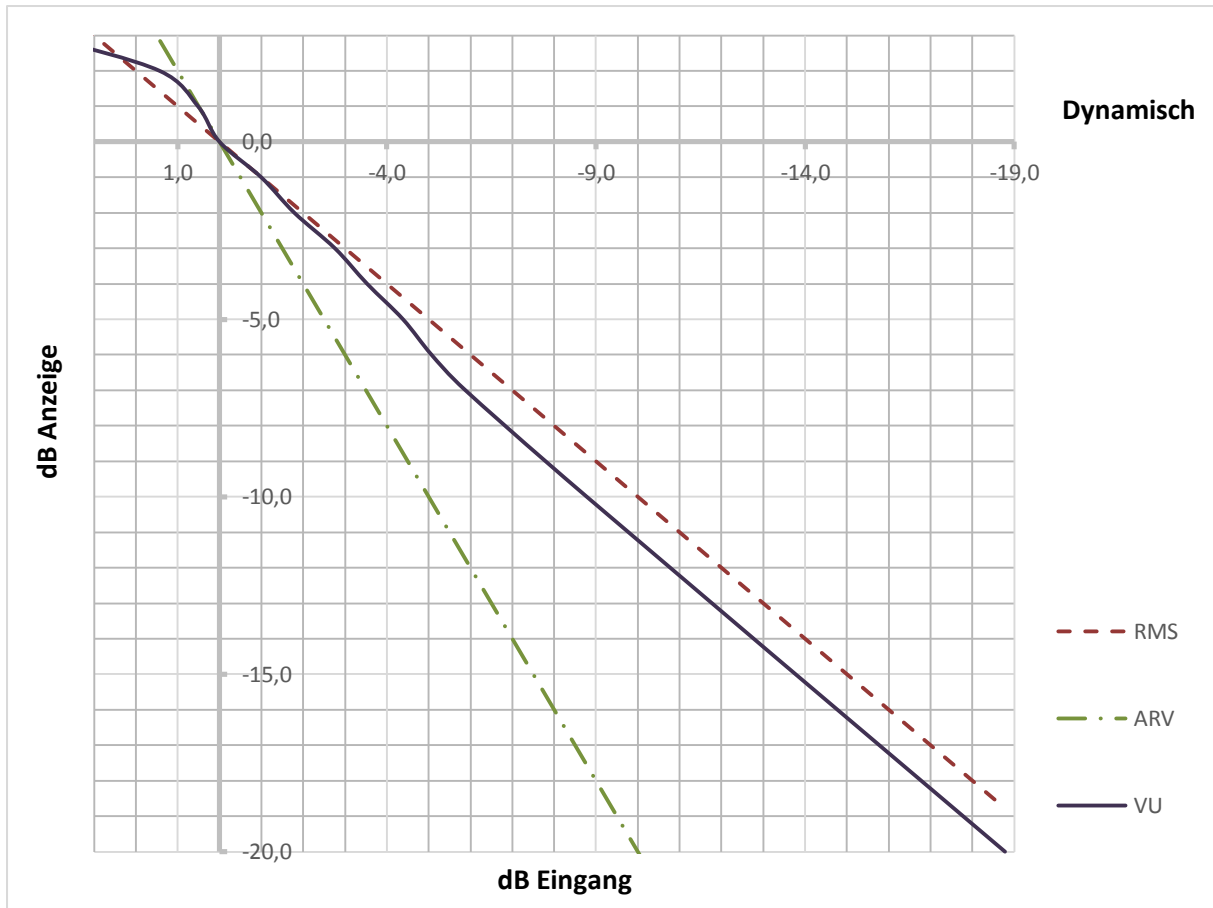


Abbildung 4.9: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des API 2500 Stereo Compressors mit einem Signal mit der Frequenz 1000 Hz

4.5 Solid State Logic C200HD

Im Gegensatz zu allen anderen bei der Messung verwendeten VU-Metern, weist dieses Gerät bei kontinuierlichem Messsignal über alle Frequenzen ein sehr lineares Anzeigeverhalten auf. Die Messung des dynamischen Verhaltens liefert Anzeigen, die bei höheren angelegten Pegeln nahe dem RMS-, bei niedrigeren angelegten Pegeln zwischen RMS- und ARV-Werten liegen (siehe Abbildung 4.10). Bei anderen Signalfrequenzen sind die Ergebnisse mit kleinen Abweichungen ähnlich (siehe Abbildung 4.11). Ein etwas stärker abweichendes Ergebnis bei dem hochfrequentesten der genutzten Signale mag z.B. mit dem veränderten Verhalten der internen Schaltung des Gerätes bei Signalen oberhalb einer gewissen Frequenz zu begründen sein.

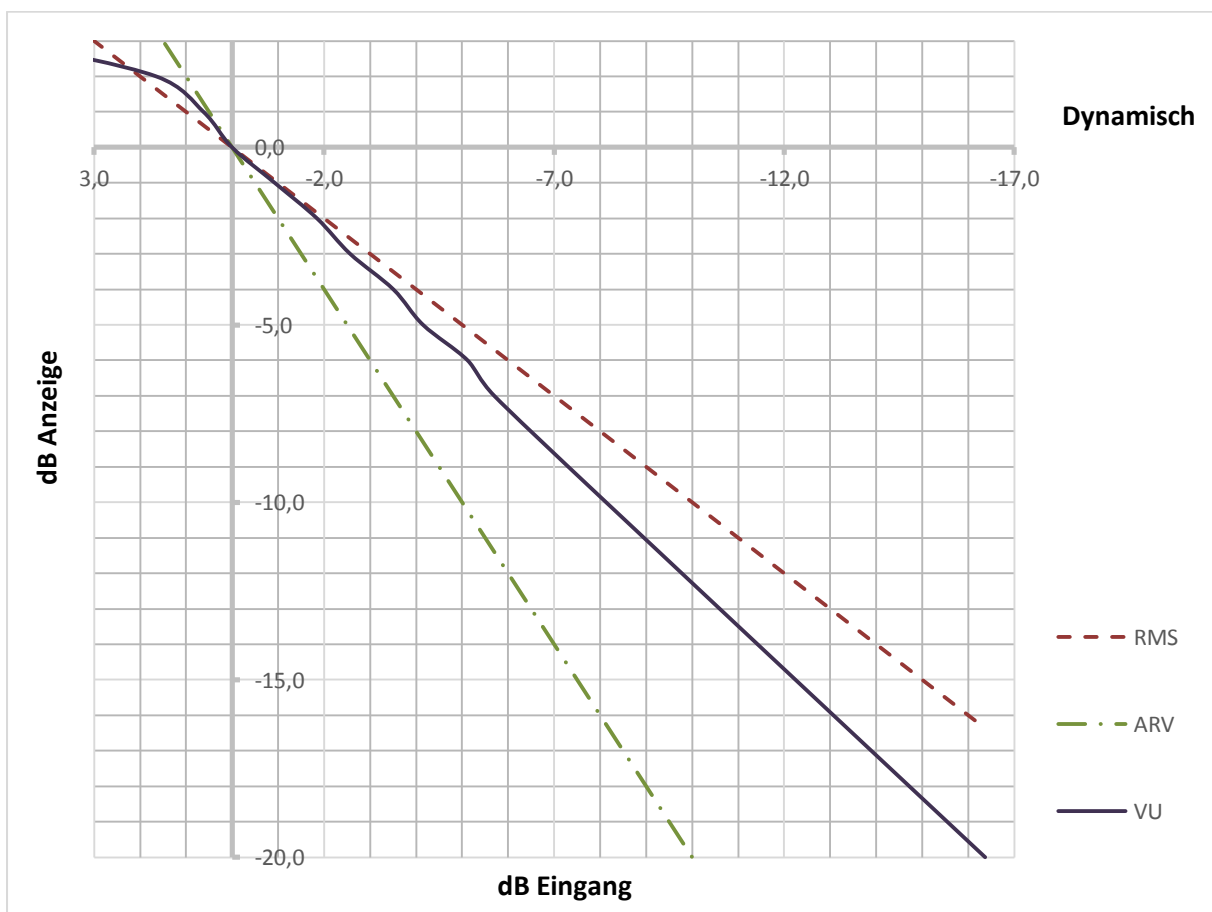


Abbildung 4.10: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des Solid State Logic C200HD mit einem Signal mit der Frequenz 1000 Hz

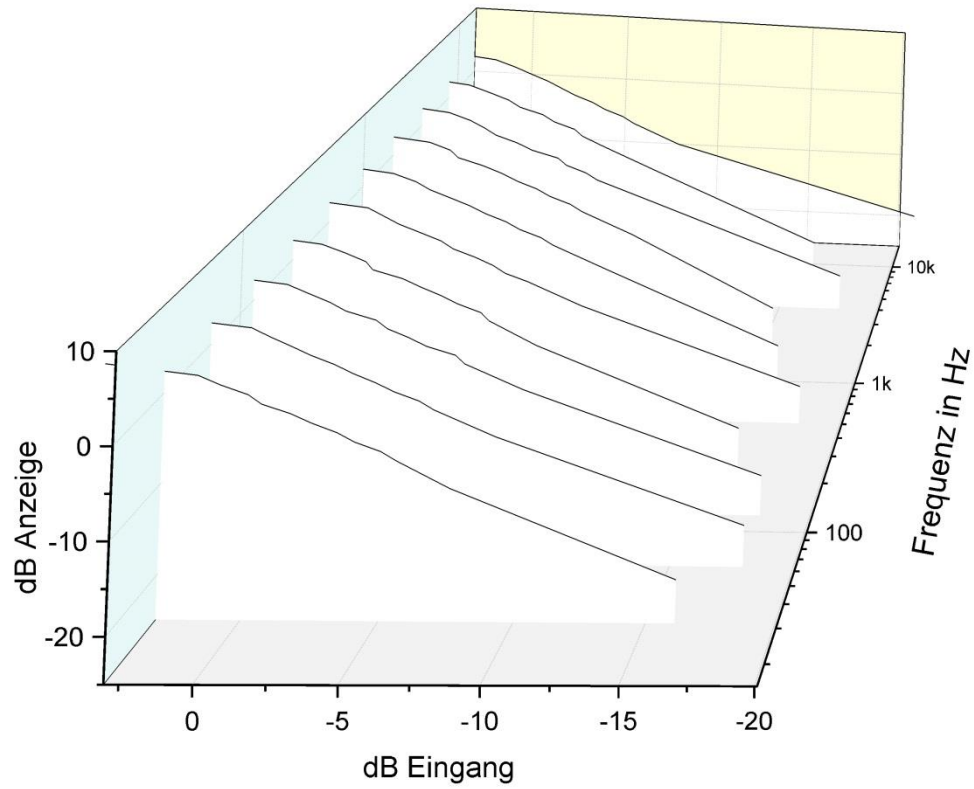


Abbildung 4.11: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des Solid State Logic C200HD mit Signalen unterschiedlicher Frequenzen

5. Fazit

Das in dieser Arbeit angestrebte Ziel war es, die von Acuña entwickelte Messmethode an einer eigenen Auswahl von Aussteuerungsmessgeräten zu erproben, die Ergebnisse auszuwerten und deren Aussagegehalt sowie die Messmethode selbst einer kritischen Betrachtung zu unterziehen.

Für Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgeräte erweist sich diese Art der Messung dabei als nur bedingt geeignet, da die Impulsdauern der Testsignale für eine signifikante Änderung der angezeigten Pegel extrem kurz gewählt werden müssen und die Ergebnisse daher nur wenige Erkenntnisse über das tatsächliche dynamische Verhalten zulassen. Allerdings sind diese Geräte in Bezug auf dieses Verhalten mit der Angabe der sehr kurzen Integrationszeiten für den praktischen Einsatz auch ausreichend charakterisiert, sofern die Peak-Werte von Signalen oberhalb dieser Dauer korrekt angegeben werden.

Im Gegensatz dazu, bietet die durchgeführte Methode hinsichtlich der verwendeten VU-Meter eine interessante Möglichkeit der Qualitätskontrolle. Viele dieser Geräte scheinen auch bei sehr dynamischen Signalen noch annähernd den RMS-Wert wiederzugeben und sich damit nahe am menschlichen Hörempfinden zu bewegen (vgl. Friesecke 2014: 414). Ab einer gewissen Impulsdauer scheint die Signalfrequenz in dem für Tonproduktionen relevanten Spektrum nur wenig Einfluss auf dieses Verhalten zu haben. In Kombination mit einer Anzeige des Peak-Wertes, könnten diese Geräte, sofern gut verarbeitet, also auch weiterhin, vor allem im Konsumentenbereich als Alternative zu RMS-Metern Verwendung finden.

Zur Durchführung der Messung lässt sich sagen, dass die Messgenauigkeit durch den Einsatz von Messaufbauten, sowie jener, der beispielsweise in DIN IEC 60268-17 für die Messung der Einschwingzeit von VU-Metern beschrieben wird (Deutsches Institut für Normung e.V. 1992: 5), noch erheblich gesteigert werden könnte. Zusätzlich ließen sich Ungenauigkeiten bei der Darstellung des dynamischen Verhaltens dadurch begrenzen, dass die gemessenen Daten erst ab dem zweithöchsten Wert der Skala mit in die Darstellung aufgenommen werden, da das genaue Erkennen einer ersten sichtbaren Reduzierung der angezeigten Pegel kaum möglich ist.

Die Darstellung der Messwerte in Form von relativen Pegeln bietet zwar eine Vergleichbarkeit der gemessenen Geräte untereinander, jedoch ist daraus nicht sofort ersichtlich, ab welcher Impulsdauer bzw. Signaldynamik sich die angezeigten Pegel tatsächlich ändern. Eine Darstellung mittels dieser Werte wäre allerdings problematisch, da je nach Gerätetyp andere Periodendauern der Messsignale gewählt werden sollen und damit ein anderer Bezug für den Crest-Faktor festgelegt werden würde. Dieser wäre somit bei der Charakterisierung der Geräte als Maßstab der Signaldynamik wenig aufschlussreich. Eine Weiterentwicklung der Messmethode und deren Auswertung könnte also beispiels-

weise die Darstellung des dynamischen Verhaltens in Bezug auf ein einheitliches Maß der Signaldynamik, sowie die Verwendung einer einheitlichen Periodendauer der Testsignale beinhalten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die verwendete Messmethode zumindest für analoge Aussteuerungsmesser mit unklaren mechanischen oder schaltungsbedingten Eigenschaften eine Grundlage für die Beurteilung der Tauglichkeit hinsichtlich des Umgangs mit Signalen unterschiedlicher Dynamik bietet. Nach einer Weiterentwicklung von Messmethode und Darstellung, könnten die Ergebnisse dieser Messung durchaus eine sinnvolle Ergänzung für die Datenblätter solcher Geräte darstellen.

6. Anhang

A1. Messdaten des RTW 1204A

Effektivwert der Eingangsspannung bei 0 dB Anzeige	0,848 V
Periodendauer des Messsignals	5000 ms

Signalfrequenz		31,5 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,003900	
3	3	0,003700	
2	2	0,003560	
1	1	0,003300	
0	0	0,001100	
-1	-1	0,000900	
-2	-2	0,000800	
-3	-3	0,000700	
-4	-4	0,000640	
-5	-5	0,000600	
-6	-6	0,000540	
-7	-7	0,000500	
-8	-8	0,000460	
-9	-9	0,000420	
-10	-10	0,000400	
-15	-15	0,000280	
-20	-20	0,000200	
-25	-25	0,000140	
-30	-30	0,000100	
-40	-40	0,000060	

Signalfrequenz		63 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,002100	
3	3	0,002000	
2	2	0,001800	
1	1	0,000700	
0	0	0,000600	
-1	-1	0,000580	
-2	-2	0,000520	
-3	-3	0,000440	
-4	-4	0,000400	
-5	-5	0,000360	
-6	-6	0,000340	
-7	-7	0,000310	
-8	-8	0,000290	
-9	-9	0,000270	
-10	-10	0,000250	
-15	-15	0,000180	
-20	-20	0,000140	
-25	-25	0,000100	
-30	-30	0,000070	
-40	-40	0,000040	

Signalfrequenz		125 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,001200	
3	3	0,001100	
2	2	0,001000	
1	1	0,000440	
0	0	0,000380	
-1	-1	0,000340	
-2	-2	0,000320	
-3	-3	0,000300	
-4	-4	0,000280	
-5	-5	0,000250	
-6	-6	0,000230	
-7	-7	0,000210	
-8	-8	0,000200	
-9	-9	0,000190	
-10	-10	0,000170	
-15	-15	0,000130	
-20	-20	0,000090	
-25	-25	0,000070	
-30	-30	0,000050	
-40	-40	0,000030	

Signalfrequenz		250 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,001600	
3	3	0,000800	
2	2	0,000600	
1	1	0,000560	
0	0	0,000520	
-1	-1	0,000320	
-2	-2	0,000260	
-3	-3	0,000210	
-4	-4	0,000190	
-5	-5	0,000170	
-6	-6	0,000160	
-7	-7	0,000150	
-8	-8	0,000140	
-9	-9	0,000130	
-10	-10	0,000120	
-15	-15	0,000094	
-20	-20	0,000060	
-25	-25	0,000050	
-30	-30	0,000040	
-40	-40	0,00002	

Signalfrequenz		500 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,001400	
3	3	0,001000	
2	2	0,000700	
1	1	0,000500	
0	0	0,000340	
-1	-1	0,000300	
-2	-2	0,000280	
-3	-3	0,000260	
-4	-4	0,000200	
-5	-5	0,000134	
-6	-6	0,000120	
-7	-7	0,000108	
-8	-8	0,000100	
-9	-9	0,000090	
-10	-10	0,000084	
-15	-15	0,000062	
-20	-20	0,000044	
-25	-25	0,000036	
-30	-30	0,000024	
-40	-40	0,000014	

Signalfrequenz		1000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,001200	
3	3	0,000800	
2	2	0,000600	
1	1	0,000500	
0	0	0,000360	
-1	-1	0,000320	
-2	-2	0,000260	
-3	-3	0,000240	
-4	-4	0,000180	
-5	-5	0,000160	
-6	-6	0,000140	
-7	-7	0,000130	
-8	-8	0,000126	
-9	-9	0,000076	
-10	-10	0,000065	
-15	-15	0,000044	
-20	-20	0,000030	
-25	-25	0,000024	
-30	-30	0,000016	
-40	-40	0,000010	

Signalfrequenz		2000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,001600	
3	3	0,001000	
2	2	0,000640	
1	1	0,000500	
0	0	0,000400	
-1	-1	0,000300	
-2	-2	0,000260	
-3	-3	0,000220	
-4	-4	0,000180	
-5	-5	0,000160	
-6	-6	0,000135	
-7	-7	0,000120	
-8	-8	0,000100	
-9	-9	0,000090	
-10	-10	0,000080	
-15	-15	0,000040	
-20	-20	0,000025	
-25	-25	0,000016	
-30	-30	0,000015	
-40	-40	0,000006	

Signalfrequenz		4000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,001600	
3	3	0,001200	
2	2	0,000700	
1	1	0,000500	
0	0	0,000400	
-1	-1	0,000300	
-2	-2	0,000260	
-3	-3	0,000230	
-4	-4	0,000180	
-5	-5	0,000160	
-6	-6	0,000140	
-7	-7	0,000110	
-8	-8	0,000100	
-9	-9	0,000090	
-10	-10	0,000080	
-15	-15	0,000040	
-20	-20	0,000020	
-25	-25	0,000016	
-30	-30	0,000010	
-40	-40	0,000008	

Signalfrequenz		8000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,001400	
3	3	0,001000	
2	2	0,000700	
1	1	0,000500	
0	0	0,000380	
-1	-1	0,000340	
-2	-2	0,000280	
-3	-3	0,000220	
-4	-4	0,000190	
-5	-5	0,000160	
-6	-6	0,000140	
-7	-7	0,000120	
-8	-8	0,000100	
-9	-9	0,000090	
-10	-10	0,000080	
-15	-15	0,000040	
-20	-20	0,000025	
-25	-25	0,000018	
-30	-30	0,000008	
-40	-40	0,000007	

Signalfrequenz		16000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
4	4	0,001400	
3	3	0,000900	
2	2	0,000600	
1	1	0,000500	
0	0	0,000400	
-1	-1	0,000300	
-2	-2	0,000260	
-3	-3	0,000210	
-4	-4	0,000180	
-5	-5	0,000160	
-6	-6	0,000140	
-7	-7	0,000120	
-8	-8	0,000100	
-9	-9	0,000090	
-10	-10	0,000080	
-15	-15	0,000040	
-20	-20	0,000030	
-25	-25	0,000015	
-30	-30	0,000007	
-40	-40	0,000006	

A2. Messdaten des selbstmontierten VU-Meters

Effektivwert der Eingangsspannung bei 0 dB Anzeige	0,715 V
Periodendauer des Messsignals	800 ms

Signalfrequenz		31,5 Hz
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)
3	4,0	0,5000
2	2,8	0,3563
1	1,6	0,2775
0	0,4	0,1988
-1	-1,0	0,1588
-2	-2,3	0,1388
-3	-3,6	0,1063
-4	-5,2	0,0875
-5	-6,6	0,0688
-6	-8,4	0,0563
-7	-9,4	0,0463
-10	-14,0	0,0250
-20	-22,0	0,0113

Signalfrequenz		63 Hz
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)
3	3,8	0,5000
2	2,5	0,3375
1	1,3	0,2575
0	0,2	0,2188
-1	-1,2	0,1688
-2	-2,5	0,1388
-3	-3,8	0,1113
-4	-5,4	0,0888
-5	-6,6	0,0788
-6	-8,3	0,0600
-7	-9,6	0,0500
-10	-13,7	0,0250
-20	-23,8	0,0100

Signalfrequenz		125 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,6	0,5000	
2	2,4	0,3300	
1	1,2	0,2500	
0	0,0	0,2000	
-1	-1,2	0,1600	
-2	-2,6	0,1300	
-3	-4,0	0,1100	
-4	-5,4	0,0900	
-5	-6,9	0,0700	
-6	-8,3	0,0550	
-7	-9,8	0,0500	
-10	20,2	0,0250	
-20	-24,5	0,0050	

Signalfrequenz		250 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,6	0,5000	
2	2,4	0,3450	
1	1,2	0,2600	
0	0,0	0,2050	
-1	-1,4	0,1600	
-2	-2,7	0,1300	
-3	-4,0	0,1100	
-4	-5,4	0,0850	
-5	-6,9	0,0700	
-6	-8,5	0,0550	
-7	-9,8	0,0450	
-10	-14,2	0,0200	
-20	-22,0	0,0050	

Signalfrequenz		500 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,6	0,5000	
2	3,7	0,3350	
1	1,2	0,2500	
0	0,0	0,2000	
-1	-1,4	0,1625	
-2	-2,7	0,1275	
-3	-4,0	0,1050	
-4	-5,5	0,0875	
-5	-6,9	0,0700	
-6	-8,5	0,0563	
-7	-9,8	0,0475	
-10	-14,2	0,0225	
-20	-24,5	0,0050	

Signalfrequenz		1000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,6	0,5000	
2	2,3	0,3363	
1	1,2	0,2500	
0	0,0	0,2000	
-1	-1,4	0,1625	
-2	-2,8	0,1313	
-3	-4,0	0,1088	
-4	-5,7	0,0875	
-5	-6,9	0,0713	
-6	-8,7	0,0575	
-7	-9,8	0,0463	
-10	-14,2	0,0225	
-20	-25,3	0,0038	

Signalfrequenz		2000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,6	0,5000	
2	2,3	0,3313	
1	1,2	0,2500	
0	0,0	0,2000	
-1	-1,4	0,1588	
-2	-2,8	0,1313	
-3	-4,1	0,1088	
-4	-5,5	0,0863	
-5	-6,9	0,0713	
-6	-8,7	0,0563	
-7	-9,8	0,0475	
-10	-14,2	0,0213	
-20	-23,8	0,0038	

Signalfrequenz		4000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,6	0,5000	
2	2,3	0,3375	
1	1,4	0,2500	
0	0,0	0,2000	
-1	-1,4	0,1625	
-2	-2,8	0,1313	
-3	-4,2	0,1088	
-4	-5,7	0,0875	
-5	-7,0	0,0725	
-6	-8,5	0,0563	
-7	-9,8	0,0475	
-10	-14,2	0,0225	
-20	-24,5	0,0038	

Signalfrequenz		8000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,6	0,5000	
2	2,3	0,3375	
1	1,2	0,2500	
0	0,0	0,2000	
-1	-1,4	0,1625	
-2	-2,8	0,1313	
-3	-4,0	0,1100	
-4	-5,7	0,0875	
-5	-6,9	0,0725	
-6	-8,5	0,0550	
-7	-9,8	0,0475	
-10	-14,2	0,0225	
-20	-23,0	0,0038	

Signalfrequenz		16000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,6	0,5000	
2	2,4	0,3375	
1	1,2	0,2500	
0	0,0	0,2000	
-1	-1,3	0,1625	
-2	-2,7	0,1313	
-3	-4,0	0,1063	
-4	-5,5	0,0838	
-5	-6,9	0,0688	
-6	-8,7	0,0563	
-7	-9,8	0,0438	
-10	-14,2	0,0213	
-20	-23,8	0,0038	

A3. Messdaten des DK-Audio MSD100T

Effektivwert der Eingangsspannung bei 0 dB Anzeige	0,603 V
Periodendauer des Messsignals	800 ms

Signalfrequenz		31,5 Hz
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)
3	3,0	0,1750
2	2,0	0,0813
1	1,0	0,0500
0,5	0,5	0,0475
0	0,0	0,0388
-0,5	-0,5	0,0313
-1	-1,0	0,0300
-2	-2,0	0,0275
-3	-3,0	0,0263
-4	-4,0	0,0250
-5	-5,0	0,0225
-6	-6,0	0,0138
-7	-7,0	0,0113
-10	-10,0	0,0088
-20	-20,0	0,0044

Signalfrequenz		63 Hz
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)
3	3,0	0,1750
2	2,0	0,0788
1	1,0	0,0538
0,5	0,5	0,0450
0	0,0	0,0400
-0,5	-0,5	0,0350
-1	-1,0	0,0338
-2	-2,0	0,0250
-3	-3,0	0,0225
-4	-4,0	0,0163
-5	-5,0	0,0150
-6	-6,0	0,0138
-7	-7,0	0,0113
-10	-10,0	0,0069
-20	-20,0	0,0031

Signalfrequenz		125 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,0	0,1750	
2	2,0	0,0788	
1	1,0	0,0525	
0,5	0,5	0,0450	
0	0,0	0,0388	
-0,5	-0,5	0,0350	
-1	-1,0	0,0313	
-2	-2,0	0,0263	
-3	-3,0	0,0219	
-4	-4,0	0,0175	
-5	-5,0	0,0163	
-6	-6,0	0,0131	
-7	-7,0	0,0119	
-10	-10,0	0,0075	
-20	-20,0	0,0025	

Signalfrequenz		250 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,0	0,1750	
2	2,0	0,0788	
1	1,0	0,0525	
0,5	0,5	0,0438	
0	0,0	0,0388	
-0,5	-0,5	0,0350	
-1	-1,0	0,0313	
-2	-2,0	0,0263	
-3	-3,0	0,0213	
-4	-4,0	0,0181	
-5	-5,0	0,0150	
-6	-6,0	0,0131	
-7	-7,0	0,0113	
-10	-10,0	0,0075	
-20	-20,0	0,0019	

Signalfrequenz		500 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,0	0,1750	
2	2,0	0,0763	
1	1,0	0,0525	
0,5	0,5	0,0438	
0	0,0	0,0388	
-0,5	-0,5	0,0350	
-1	-1,0	0,0313	
-2	-2,0	0,0256	
-3	-3,0	0,0213	
-4	-4,0	0,0175	
-5	-5,0	0,0150	
-6	-6,0	0,0131	
-7	-7,0	0,0113	
-10	-10,0	0,0075	
-20	-20,0	0,0038	

Signalfrequenz		1000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,0	0,1750	
2	2,0	0,0800	
1	1,0	0,0513	
0,5	0,5	0,0450	
0	0,0	0,0400	
-0,5	-0,5	0,0338	
-1	-1,0	0,0300	
-2	-2,0	0,0263	
-3	-3,0	0,0213	
-4	-4,0	0,0175	
-5	-5,0	0,0150	
-6	-6,0	0,0125	
-7	-7,0	0,0113	
-10	-10,0	0,0075	
-20	-20,0	0,0021	

Signalfrequenz		2000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,0	0,1750	
2	2,0	0,0775	
1	1,0	0,0500	
0,5	0,5	0,0438	
0	0,0	0,0388	
-0,5	-0,5	0,0338	
-1	-1,0	0,0288	
-2	-2,0	0,0263	
-3	-3,0	0,0213	
-4	-4,0	0,0175	
-5	-5,0	0,0138	
-6	-6,0	0,0125	
-7	-7,0	0,0113	
-10	-10,0	0,0075	
-20	-20,0	0,0023	

Signalfrequenz		4000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,0	0,1750	
2	2,0	0,0788	
1	1,0	0,0500	
0,5	0,5	0,0450	
0	0,0	0,0400	
-0,5	-0,5	0,0338	
-1	-1,0	0,0300	
-2	-2,0	0,0250	
-3	-3,0	0,0200	
-4	-4,0	0,0175	
-5	-5,0	0,0150	
-6	-6,0	0,0125	
-7	-7,0	0,0100	
-10	-10,0	0,0075	
-20	-20,0	0,0022	

Signalfrequenz		8000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,0	0,1750	
2	2,0	0,0775	
1	1,0	0,0513	
0,5	0,5	0,0438	
0	0,0	0,0388	
-0,5	-0,5	0,0338	
-1	-1,0	0,0313	
-2	-2,0	0,0250	
-3	-3,0	0,0213	
-4	-4,0	0,0175	
-5	-5,0	0,0138	
-6	-6,0	0,0125	
-7	-7,0	0,0113	
-10	-10,0	0,0075	
-20	-20,0	0,0022	

Signalfrequenz		16000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,0	0,1750	
2	2,0	0,0788	
1	1,0	0,0513	
0,5	0,5	0,0450	
0	0,0	0,0388	
-0,5	-0,5	0,0338	
-1	-1,0	0,0300	
-2	-2,0	0,0250	
-3	-3,0	0,0213	
-4	-4,0	0,0175	
-5	-5,0	0,0150	
-6	-6,0	0,0125	
-7	-7,0	0,0113	
-10	-10,0	0,0075	
-20	-20,0	0,0021	

A4. Messdaten des API 2500 Stereo Compressor

Effektivwert der Eingangsspannung bei 0 dB Anzeige	1,218 V
Periodendauer des Messsignals	800 ms

Signalfrequenz		31,5 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,9	0,5000	
2	2,6	0,2625	
1	1,3	0,2125	
0	0,0	0,1875	
-1	-1,7	0,1500	
-2	-3,0	0,1250	
-3	-4,4	0,1000	
-4	-5,4	0,0863	
-5	-6,5	0,0688	
-6	-7,4	0,0550	
-7	-8,4	0,0475	
-10	-11,5	0,0250	
-20	-23,2	0,0050	

Signalfrequenz		63 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,9	0,5000	
2	2,6	0,2625	
1	1,3	0,2125	
0	0,1	0,1875	
-1	-1,7	0,1500	
-2	-3,0	0,1250	
-3	-4,3	0,1000	
-4	-5,4	0,0813	
-5	-6,5	0,0688	
-6	-7,4	0,0550	
-7	-8,4	0,0450	
-10	-11,5	0,0250	
-20	-23,2	0,0025	

Signalfrequenz		125 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,9	0,5000	
2	2,6	0,2625	
1	1,3	0,2225	
0	0,1	0,1875	
-1	-1,6	0,1500	
-2	-3,0	0,1250	
-3	-4,3	0,1000	
-4	-5,4	0,0875	
-5	-6,5	0,0688	
-6	-7,5	0,0563	
-7	-8,5	0,0475	
-10	-11,5	0,0250	
-20	-23,2	0,0025	

Signalfrequenz		250 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	4,0	0,5000	
2	2,7	0,2500	
1	1,4	0,2125	
0	0,2	0,1875	
-1	-1,7	0,1500	
-2	-3,0	0,1250	
-3	-4,4	0,1000	
-4	-5,4	0,0863	
-5	-6,5	0,0688	
-6	-7,5	0,0550	
-7	-8,4	0,0438	
-10	-11,6	0,0250	
-20	-23,2	0,0025	

Signalfrequenz		500 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	4,0	0,5000	
2	2,7	0,2500	
1	1,3	0,2125	
0	0,1	0,1875	
-1	-1,6	0,1500	
-2	-3,0	0,1250	
-3	-4,3	0,1000	
-4	-5,4	0,0850	
-5	-6,5	0,0688	
-6	-7,5	0,0550	
-7	-8,5	0,0475	
-10	-11,6	0,0250	
-20	-23,2	0,0025	

Signalfrequenz		1000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,9	0,5000	
2	2,6	0,2625	
1	1,3	0,2125	
0	0,0	0,1888	
-1	-1,7	0,1500	
-2	-3,0	0,1250	
-3	-4,4	0,1000	
-4	-5,3	0,0838	
-5	-6,5	0,0688	
-6	-7,3	0,0588	
-7	-8,4	0,0488	
-10	-11,3	0,0250	
-20	-23,2	0,0025	

Signalfrequenz		2000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	4,0	0,5000	
2	2,7	0,2500	
1	1,3	0,2125	
0	0,2	0,1875	
-1	-1,6	0,1500	
-2	-2,9	0,1250	
-3	-4,3	0,1000	
-4	-5,4	0,0850	
-5	-6,5	0,0688	
-6	-7,4	0,0550	
-7	-8,5	0,0475	
-10	-11,6	0,0250	
-20	-23,2	0,0025	

Signalfrequenz		4000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	4,0	0,5000	
2	2,7	0,2500	
1	1,3	0,2125	
0	0,1	0,1875	
-1	-1,6	0,1500	
-2	-3,0	0,1250	
-3	-4,3	0,1000	
-4	-5,4	0,0863	
-5	-6,5	0,0688	
-6	-7,4	0,0550	
-7	-8,5	0,0475	
-10	-11,5	0,0250	
-20	-23,2	0,0025	

Signalfrequenz		8000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,9	0,5000	
2	2,7	0,2500	
1	1,3	0,2125	
0	0,1	0,1875	
-1	-1,7	0,1500	
-2	-2,9	0,1250	
-3	-4,5	0,1000	
-4	-5,3	0,0850	
-5	-6,5	0,0688	
-6	-7,3	0,0588	
-7	-8,5	0,0475	
-10	-11,5	0,0250	
-20	-23,2	0,0025	

Signalfrequenz		16000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3,8	0,5000	
2	2,6	0,2500	
1	1,2	0,2125	
0	-0,1	0,1875	
-1	-1,7	0,1500	
-2	-3,0	0,1250	
-3	-4,5	0,1000	
-4	-5,6	0,0850	
-5	-6,6	0,0700	
-6	-7,5	0,0588	
-7	-8,7	0,0475	
-10	-11,7	0,0250	
-20	-23,2	0,0025	

A5. Messdaten des Solid State Logic C200HD

Effektivwert der Eingangsspannung bei 0 dB Anzeige	1,188 V
Periodendauer des Messsignals	800 ms

Signalfrequenz		31,5 Hz
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)
3	3,0	0,5000
2	2,0	0,2338
1	1,0	0,1938
0	0,0	0,1538
-1	-1,1	0,1375
-2	-2,0	0,1075
-3	-3,0	0,0900
-4	-4,0	0,0725
-5	-5,0	0,0625
-6	-6,0	0,0500
-7	-7,0	0,0438
-10	-10,9	0,0275
-20	-19,9	0,0038

Signalfrequenz		63 Hz
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)
3	3	0,5000
2	1,9	0,2213
1	1	0,1875
0	0	0,1563
-1	-1	0,1313
-2	-2	0,1063
-3	-3	0,0900
-4	-4	0,0738
-5	-5	0,0625
-6	-6	0,0500
-7	-7	0,0438
-10	-10,1	0,0250
-20	-20	0,0025

Signalfrequenz		125 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3	0,5000	
2	2	0,2275	
1	1	0,1875	
0	0	0,1538	
-1	-1	0,1325	
-2	-2	0,1000	
-3	-3	0,0900	
-4	-4	0,0738	
-5	-5	0,0625	
-6	-6	0,0475	
-7	-7	0,0438	
-10	-9,9	0,0250	
-20	-19,9	0,0025	

Signalfrequenz		250 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3	0,5000	
2	2	0,2350	
1	1,1	0,1875	
0	0	0,1538	
-1	-1	0,1438	
-2	-2	0,1075	
-3	-3	0,0900	
-4	-4	0,0738	
-5	-5,2	0,0625	
-6	-6	0,0500	
-7	-7	0,0463	
-10	-10	0,0288	
-20	-20	0,0038	

Signalfrequenz		500 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3	0,5000	
2	2	0,2225	
1	1	0,1900	
0	0	0,1625	
-1	-1	0,1313	
-2	-2	0,1063	
-3	-3	0,0938	
-4	-4	0,0750	
-5	-5	0,0625	
-6	-6	0,0550	
-7	-7	0,0438	
-10	-10	0,0250	
-20	-20	0,0025	

Signalfrequenz		1000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3	0,5000	
2	2	0,2375	
1	1	0,1875	
0	0	0,1625	
-1	-0,9	0,1313	
-2	-2	0,1063	
-3	-3	0,0900	
-4	-4	0,0725	
-5	-5	0,0625	
-6	-6	0,0500	
-7	-7	0,0438	
-10	-10	0,0250	
-20	-19,9	0,0038	

Signalfrequenz		2000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	2,9	0,5000	
2	2	0,2350	
1	1	0,1875	
0	0	0,1725	
-1	-1	0,1313	
-2	-2	0,1063	
-3	-3	0,0900	
-4	-4	0,0725	
-5	-5	0,0625	
-6	-6	0,0500	
-7	-7	0,0438	
-10	-10	0,0250	
-20	-20	0,0050	

Signalfrequenz		4000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3	0,5000	
2	2	0,2375	
1	1	0,1875	
0	0	0,1600	
-1	-1	0,1400	
-2	-2	0,1100	
-3	-3	0,0925	
-4	-4	0,0688	
-5	-5	0,0625	
-6	-6	0,0500	
-7	-7	0,0438	
-10	-10	0,0225	
-20	-20	0,0025	

Signalfrequenz		8000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3	0,5000	
2	1,9	0,2375	
1	1	0,1875	
0	-0,1	0,1500	
-1	-1	0,1313	
-2	-2	0,1000	
-3	-3	0,0875	
-4	-5,2	0,0688	
-5	-5	0,0625	
-6	-6	0,0525	
-7	-7	0,0438	
-10	-10	0,0250	
-20	-20	0,0038	

Signalfrequenz		16000 Hz	
Anzeige in dB	Eingestellter Pegel in dbFS (kontinuierliches Signal)	Tastgrad (gepulstes Signal)	
3	3	0,5000	
2	2	0,2375	
1	1	0,1875	
0	0	0,1538	
-1	-1	0,1250	
-2	-2	0,1063	
-3	-3	0,0900	
-4	-4	0,0725	
-5	-5	0,0625	
-6	-6	0,0500	
-7	-7	0,0438	
-10	-9,8	0,0250	
-20	-20	0,0013	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Muster des allgemein verwendeten Skalentyps für VU-Meter aus (Deutsches Institut für Normung e.V. 1992: 5).....	4
Abbildung 2.2: Anzeige eines Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgerät mit DIN Skala nach DIN IEC 60268-10 aus (Weinzierl 2008: 557).....	5
Abbildung 2.3: SEW ST-475.....	8
Abbildung 2.4: Drehspulmesswerk des SEW ST-475.....	8
Abbildung 2.5: Ausschnitt des Schaltplans des JLM Audio VU-Meter Buffers aus (JLM Audio 2013).....	8
Abbildung 2.6: Fertiggestellter JLM Audio VU-Meter Buffer.....	9
Abbildung 2.7: Abbildung von Peak, RMS und ARV als Funktion des Crest-Faktors.....	12
Abbildung 3.1: Anzeige des beim selbstmontierten VU-Meter verwendeten SEW ST-745.....	15
Abbildung 3.2: RTW 1204A.....	16
Abbildung 3.3: Anzeige des DK-Audio MSD100T im VU-Modus.....	16
Abbildung 3.4: Anzeige der VU-Meter des API 2500 Stereo Compressor.....	16
Abbildung 3.5: Anzeige des VU-Meters des Solid State Logic C200 HD.....	16
Abbildung 4.1: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des RTW 1024A bei einem Signal mit der Frequenz 1000 Hz.....	19
Abbildung 4.2: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des RTW 1204A mit Signalen unterschiedlicher Frequenzen.....	20
Abbildung 4.3: Darstellung der Ergebnisse der Messung des Selbstmontierten VU-Meters mit einem kontinuierlichen Signal mit der Frequenz 1000Hz.....	21
Abbildung 4.4: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des selbstmontierten VU-Meters mit einem Signal mit der Frequenz 1000 Hz.....	22

Abbildung 4.5: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des selbstmontierten VU-Meters mit Signalen unterschiedlicher Frequenzen.....	23
Abbildung 4.6: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des DK-Audio MSD100T mit einem Signal mit der Frequenz1000Hz.....	24
Abbildung 4.7: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des DK-Audio MSD100T mit Signalen unterschiedlicher Frequenzen.....	25
Abbildung 4.8: Darstellung der Ergebnisse der Messung des API 2500 Stereo Compressors mit einem kontinuierlichen Signal mit der Frequenz 1000Hz.....	26
Abbildung 4.9: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des API 2500 Stereo Compressors mit einem Signal mit der Frequenz 1000 Hz.....	27
Abbildung 4.10: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des Solid State Logic C200HD mit einem Signal mit der Frequenz 1000 Hz.....	28
Abbildung 4.11: Darstellung der Ergebnisse der Messung des dynamischen Verhaltens des Solid State Logic C200HD mit Signalen unterschiedlicher Frequenzen.....	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Spezifische Eigenschaften von Aussteuerungsmessgeräten aus (Weinzierl 2008: 555)....	6
Tabelle 2.2: Tabellarische Übersicht über den Zusammenhang zwischen Duty Cycle, Crest-Faktor, Peak, RMS und ARV.....	11
Tabelle 3.1: Gemessene Spannung am Ausgang des Saffire 6 USB Interfaces.....	14

Literaturverzeichnis

Acuna, Victor von (2015): Method to Evaluate the Ballistics of Audio Meters, in: *Journal of the Audio Engineering Society*, Jg. 63, Nr. 7/8, S. 583.

API (o.J.): 2500 Stereo Compressor Manual, [online] <http://apiaudio.com/docs/manuals/man2500.pdf> [05.01.2016]

Audacity development team (o.J.): Über Audacity, [online] <http://audacityteam.org/about/> [22.12.2015]

Ballou, Glen (Hrsg.) (2015): *Handbook for Sound Engineers*, 5. Aufl., Burlington: Focal Press.

Bastian, Peter, Horst Bumiller, Monika Burgmaier, Walter Eichler, Bernd Feustel, Thoman Käppel, Werner Klee, Jürgen Manderla, Olaf Reichmann, Jürgen Schwarz, Klaus Tkotz, Ulrich Winter und Klaus Ziegler (2012): *Fachkunde Elektrotechnik*, 28. Aufl., Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel.

Deutsches Institut für Normung e.V. (1992): *DIN IEC 60268-17: Elektroakustische Geräte – Teil 17: Standard-vu-Meter*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Deutsches Institut für Normung e.V. (1994): *DIN IEC 60268-10: Elektroakustische Geräte – Teil 10: Spitzenspannungs-Aussteuerungsmeßgerät*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DK-Audio (o.J.): MSD100T User's Manual, [online] http://kinozavod.ru/uploads/pdf/MSD100_manual.pdf [05.01.2016]

European Broadcasting Union (2014): *EBU R 128: Loudness normalisation and permitted maximum level of audio signals*, Geneva: EBU

Felderhoff, Rainer, Ulrich Freyer (2007): *Elektrische und elektronische Messtechnik*, 8. Aufl., München: Carl Hanser Verlag.

Focusrite (o.J.): Saffire 6 USB Bedienungsanleitung, [online] <http://d3se566zfvnmhf.cloudfront.net/sites/default/files/downloads/7066/saffire-6-usb-bdienungsanleitung.pdf> [02.01.2016]

Freyer, Ulrich (2013): *Medientechnik: Basiswissen Nachrichtentechnik, Begriffe, Funktionen, Anwendungen*, München: Carl Hanser Verlag.

Friesecke, Andreas (2014): *Die Audio-Enzyklopädie: Ein Nachschlagewerk für Tontechniker*, Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH

Goods archive (o.J.): HYELEC MS8233D [online]

<http://goodsarchive.com/goods/HYELEC+MS8233D+2000+Counts+Professional+Digital+Electrical+Handheld+Tester+LCD+Auto+range+Display+Mini+Digital+Multimeter/863994> [05.01.2016]

Hagmann, Gert (2011): *Grundlagen der Elektrotechnik*, 15. Aufl., Wiebelsheim: AULA-Verlag GmbH.

International Telecommunication Union (2015): *Recommendation ITU-R BS.1770-4: Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level*, Geneva: ITU.

JLM Audio (2013): VU Buffer and peak led schematic, [online]

<http://www.jlmaudio.com/VU/VU%20buffer%20&%20Peak%20LED%20131201.pdf> [22.12.2015]

JLM Audio (o.J.): VU Buffer & Peak LED Kit, [online] <http://www.jlmaudio.com/shop/vu-buffer-peak-led-kit.html> [22.12.2015]

Pleasurize Music Foundation (2009): DR Manual V1.1, [online]

http://www.dynamicrange.de/sites/default/files/DR-Manual-V1_1-English.pdf [15.12.2015].

PreSonus (2015): Studio One 3 Product Details, [online] <https://shop.presonus.com/products/studio-one-prods/Studio-One-3-Prime> [22.12.2015]

Rane Corporation (o.J.): Pro Audio Reference, [online] <http://www.rane.com/par-c.html#cps> [20.12.2015].

RTW (2004): Datenblatt Peakmeter 1206D [online]

http://www.videodata.de/shop/media/products/RTW_1206D.pdf [17.12.2015]

RTW (o.J.): Datenblatt Peakmeter 1204A, [online]

http://www.mypromedia.de/out/pictures/media/datenblatt_rtw_1204a_fl.pdf [05.01.2016]

SEW (o.J.): W-Series Data sheet, [online] <http://www.sew.com.tw/ezfiles/sew1/img/img/174767/ST-160ST-475ST-315.pdf> [20.12.2015]

Shepherd, Ashley (2008): *Pro Tools for Video, Film, and Multimedia, Second Edition*, Boston: Course Technology.

Solid State Logic (2011): C200 HD Product Overview, [online]

http://sslweb.solidstatellogic.com.s3.amazonaws.com/content/c200hd/documents/C200_Product_Overview.pdf [05.01.2016]

Weinzierl, Stefan (2008): *Handbuch der Audiotechnik*, Berlin: Springer-Verlag.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelor-Thesis mit dem Titel: „**Messtechnische Untersuchung der Reaktion von Aussteuerungsmessern auf Signale unterschiedlicher Dynamik**“ selbständig ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt zu haben. Die aus anderen Werken wörtlich entnommenen Stellen oder dem Sinn nach entlehnten Passagen sind durch Quellenangaben eindeutig kenntlich gemacht.
